

VŠB- Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Rekonstrukce ocelových příhradových stožárů elektrického vedení

VN 180/94 v Třebovicích

Reconstruction of lattice steel towers of the power line VN 180/94 in

Třebovice

Student:

Veronika Dybalová

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vít Křivý Ph. D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Zadání bakalářské práce

Student: **Veronika Dybalová**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Rekonstrukce ocelových příhradových stožárů elektrického vedení VN 180/94 v Třebovicích**
Reconstruction of lattice steel towers of the power line VN 180/94 in Třebovice
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce:

1. Navrhněte a staticky posuďte rekonstrukci korozně oslabených stožárů na lince elektrického vedení z Teplárny Třebovice do Mariánských hor. Statický posudek proveďte v souladu s platnými evropskými normami.
2. Bakalářskou práci doplňte o potřebnou projektovou dokumentaci k navrženým opravám a technickou zprávu ke statickému výpočtu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Praha : ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-X: Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha: ČNI.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.
- [4] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ČNI, 2006.
- [5] ČSN EN 50341-1 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV - Část 1: Všeobecné požadavky - Společné specifikace.
- [6] Statický a znalecký posudek na 15 ks stávajících stožárů vedení VN 180/94, Třebovice. Vypracoval R&P Projekt, s.r.o., 2015.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 26. 4. 2016

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домии, же Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домии, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Anotace:

Počet stran: 106

Tato práce se zabývá posouzením ocelových příhradových stožárů elektrického vedení VN 22 kV, které se nachází v Ostravě - Třebovicích a návrhem opatření pro korozně oslabené prvky. Zatížení na konstrukci bylo stanoveno dle normy pro elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV. Jednotlivé prvky byly posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Zatížení od vodičů, způsobené změnou klimatických vlivů, bylo počítáno využitím rovnice tížné řetězovky a stavové rovnice. Součástí práce je také výpočet mechanického napětí vodiče a posudek mezních stavů. V závěru je navržena a posouzena rekonstrukce nejvíce korozně oslabených prvků a doporučena protikorozní ochrana. Práce obsahuje také technickou zprávu a příslušnou výkresovou dokumentaci.

Klíčová slova: ocelový příhradový stožár; soustava velmi vysokého napětí; koncový stožár; vodiče; koroze; rekonstrukce stožárů

Annotation:

Number of pages: 106

This thesis deals with the assessment of steel lattice towers of power lines voltage 22 kV, which is located in Ostrava - Třebovice and proposing measures for corrosion weakened elements. Loads on the structure was determined according to the standards for electrical overhead lines exceeding AC 45 kV. The individual elements were assessed at the ultimate limit state and usability. Load from wires caused by changing climatic factors were calculated using the equation gravity catenary and equations. The work also includes the calculation of mechanical tension wires and report limit states. In conclusion, is designed and assessed the reconstruction of the most fragile elements of corrosion and is recommended corrosion protection. Work also includes technical report and relevant technical drawings.

Key words: steel lattice tower; high voltage system; terminal pole; wires; corrosion; reconstruction of tower

Obsah

Seznam použitého značení	6
1. Úvod	11
2. Mechanika venkovního vedení	12
2.1 Odvození průhybové křivky	12
2.2 Tížná řetězovka	15
2.2.1 Souměrně zavěšený vodič	15
2.2.2 Počáteční podmínka	16
2.3 Stavová rovnice	19
2.4 Odvození stavové rovnice	20
3. Zatížení	22
3.1 Stálé zatížení	22
3.2 Proměnné zatížení	22
3.2.1 Zatížení větrem	23
3.2.2 Zatížení námrazou	31
3.2.3 Zatížení nerovnoměrnou námrazou	33
3.2.4 Zatížení větrem a námrazou	34
3.2.5 Zatížení teplotou	36
3.3 Zatěžovací stavy	37
4. Mezní stavy	38
4.1 Mezní stav únosnosti	38
4.2 Mezní stav použitelnosti	40
5. Posouzení vybraného stožáru	42
5.1 Základní údaje	42
5.2 Prohlídka konstrukce	43

5.3	Zatížení	46
5.3.1	Vlastní tíha	46
5.3.2	Stálé zatížení způsobené vodiči.....	46
5.3.3	Zatížení větrem.....	47
5.3.4	Zatížení námrazou	52
5.3.5	Kombinace zatížení větrem a námrazou	53
5.4	Kombinace zatížení	55
5.5	Vnitřní síly.....	55
5.6	Zatížení od vodičů	56
5.7	Posouzení mezního stavu použitelnosti.....	59
5.8	Posouzení mezního stavu únosnosti	60
5.8.1	Nárožník L 180/15	60
5.8.2	Nárožník L 140/12	68
5.8.3	Ztužení L 80/7	71
5.8.4	Ztužení L 70/7	74
5.8.5	Zavětrování L 45/4	77
5.9	Posouzení vodičů.....	79
5.10	Posouzení šroubového spoje nárožníku L 180/15- koroze	80
5.11	Posouzení šroubového spoje diagonály L80/7- koroze	85
6.	Návrh rekonstrukce	91
6.1	Posudek rekonstrukce	91
6.1.1	Posouzení šroubového spoje nárožníku L 180/15- koroze, montáž.....	91
6.1.2	Posouzení šroubového spoje nárožníku L 80/7- koroze, montáž.....	93
6.2	Postup rekonstrukce.....	94
6.2.1	Protikorozní ochrana	97

7.	Závěr.....	98
8.	Použité zdroje.....	100
9.	Seznam obrázků	102
10.	Seznam tabulek	104
11.	Přílohy	106

Seznam použitého značení

A_{net}	Průměr oslabeného průřezu	[m ²]
a	Délka rozpětí	[m]
A	Plocha průřezu	[m ²]
A_{nt}	Oslabená plocha při působení tahu	[m ²]
A_{nv}	Oslabená plocha při působení smyku	[m ²]
A_{S}	Plocha jádra šroubu	[m ²]
b	Šířka ramene	[m]
b_1	Šířka stožáru v nižší rovině	[m]
B^2	Součinitel odezvy pozadí	[-]
b_2	Šířka stožáru ve vyšší rovině	[m]
c	Parametr řetězovky	[m]
C_c	Součinitel aerodynamického odporu pro vodič	[-]
c_{dir}	Součinitel směru větru	[-]
C_{Ic}	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
C_m	Součinitele ekvivalentního momentu	[-]
C_m	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
C_{ti}	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
d	Průměr šroubu	[m]
d	Průměr vodiče	[m ²]
D	Ekvivalentní průměr omrzlého vodiče	[m ²]
d_0	Průměr otvoru	[m]
d_i	Průměr vodiče ve výškové úrovni i	[m]
dl	Element průhybové křivky	[-]
E	Modul pružnosti	[MPa]
F_H	Vodorovná složka síly ve vodiči	[kN]
f_m	Maximální průvěs tížné řetězovky	[m]
f_u	Mez pevnosti	[MPa]
f_{ub}	Mez pevnosti pro šroub	[MPa]

F_V	Svislá složka síly ve vodiči	[kN]
f_y	Mez kluzu	[MPa]
f_{yb}	Mez kluzu pro šrouby	[MPa]
g	Vlastní tíha lana	[kg/m]
G	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
G_c	součinitel konstrukce pro vodič	[-]
G_c	Součinitel konstrukce pro omrzlé vodiče	[-]
G_m	Součinitel konstrukce	[-]
G_q	poryvový součinitel	[-]
G_t	Součinitel konstrukce	[-]
h	Referenční výšky uvažované složky nad zemí	[m]
H	Referenční nadmořská výška v metrech	[m]
h_a	Střední aritmetická výška všech vodičů	[m]
h_i	Referenční výška nad zemí těžiště vodiče ve výškové úrovni i	[m]
H_t	Celková výška stožáru	[m]
h_w	Střední vážená výška všech vodičů	[m]
I	Moment setrvačnosti	[m ⁴]
I_3	Jmenovité zatížení námrazou	[kN]
I_d	Návrhové zatížení námrazou	[kN]
I_K	Charakteristické zatížení námrazou	[kN]
I_R	Referenční zatížení námrazou	[kN]
I_T	Extrémní zatížení námrazou	[kN]
I_t	Moment tuhosti v prostém kroucení	[m ⁴]
i_v	Poloměr setrvačnosti k ose v	[m]
$I_v(h)$	Intenzita turbulence	[-]
I_w	Výsečový model setrvačnosti	[m ⁶]
i_y	Poloměr setrvačnosti k ose y	[m]
K_h	Koeficient výšky pro zatížení námrazou	[m]
k_p	součinitel maximální hodnoty	[-]

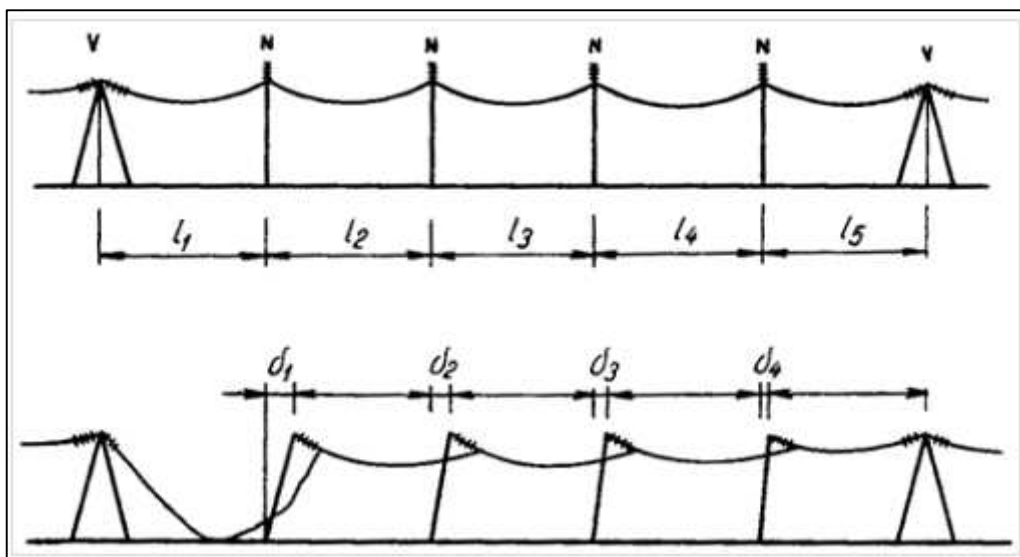
k_r	Součinitel terénu	[-]
k_{yy}	Interakční součinitel	[-]
k_{yz}	Interakční součinitel	[-]
k_{zy}	Interakční součinitel	[-]
k_{zz}	Interakční součinitel	[-]
L	Délka rozpětí	[m]
L_h	Měřítka délky turbulence v referenční výšce vodiče h	[m]
L_m	Střední hodnota délek obou sousedních rozpětí	[m]
l_s	Skutečná délka vodiče	[m]
L_{vv}	Vzpěrná délka k rovině v-v	[m]
L_w	Váhový příspěvek z přilehlého rozpětí	[m]
L_{yy}	Vzpěrná délka k rovině y-y	[m]
n	Počet šroubů v průřezu	[-]
n_i	Počet vodičů stejného průměru d_i ve výškové úrovni i	[-]
\emptyset	Úhel mezi směrem větru a podélnou osou konzoly	[°]
\emptyset_{LT}	Součinitel klopení	[-]
\emptyset_y	Součinitel vzpěrnosti	[-]
q	Spojitě zatížení	[kN/m]
q_l	Spojitě zatížení od vlastní tíhy vodiče	[kN/m]
$q_h(h)$	Střední tlak větru	[N/m ²]
$q_p(h)$	Maximální tlak větru	[N/m ²]
R^2	Součinitel rezonanční části odezvy	[-]
T'	Absolutní teplota ve stupních Kelvina v nadmořské výšce H	[-]
T_{\max}	Maximální teplota v létě	[°C]
T_{\min}	Minimální teplota v zimě	[°C]
$V_{b,0}$	Základní rychlost větru	[m/s]
$V_{h(h)}$	Střední rychlost větru	[m/s]
V_{IH}	Rychlost větru s vysokou pravděpodobností	[m/s]
V_{IL}	Rychlost větru s nízkou pravděpodobností	[m/s]

W_{el}	Pružný modul průřezu	[m ³]
x_A	Místo maximálního průhybu	[m]
z	Přetížení vodiče	[-]
z_0	Třecí výška	[m]
α	Redukční součinitel pro nerovnoměrné zatížení námrazou	[-]
α	Součinitel imperfekce	[-]
α	Součinitel tepelné roztažnosti vodiče	[°C ⁻¹]
α_{LT}	Součinitel imperfekce klopení	[-]
α_v	Součinitel pro únosnost ve střihu	[-]
β_{Lf}	Redukce únosnosti ve střihu	[-]
γ	Měrná tíha vodiče	[N/m ³]
γ_G	Dílčí součinitel stálého zatížení	[-]
γ_Q	Dílčí součinitel proměnného zatížení	[-]
Δl	Změna délek	[-]
$\Delta \vartheta$	Změna teploty	[-]
ε	Poměrné přetvoření	[-]
ϑ	Úhel změny trasy	[°]
$\bar{\lambda}_{eff}$	Efektivní poměrná štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}_{LT}$	Poměrná štíhlost při klopení	[-]
λ_y	Štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}_y$	Poměrná štíhlost	[-]
ρ	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
σ_{dov}	Maximální dovolené napětí ve vodiči	[MPa]
σ_H	Vodorovná složka mechanického napětí	[MPa]
χ	Součinitel plnosti	[-]
χ_{LT}	Součinitel klopení	[-]
χ_y	Součinitel vzpěrnosti	[-]
ψ_{wc}	Součinitel kombinace pro zatížení omrzlých vodičů	[-]

1. Úvod

Přenosová soustava rozvádí elektřinu z elektráren do distribučních soustav nižšího napětí a dále ke konečnému spotřebiteli. V případě elektrických venkovních vedení je požadavek na spolehlivost konstrukce vysoký. Také je kladen důraz na ekonomičnost a zabránění šíření poruchy. Při havárii nesmí dojít k řetězové reakci a ohrožení života lidí, či ekonomickým ztrátám.

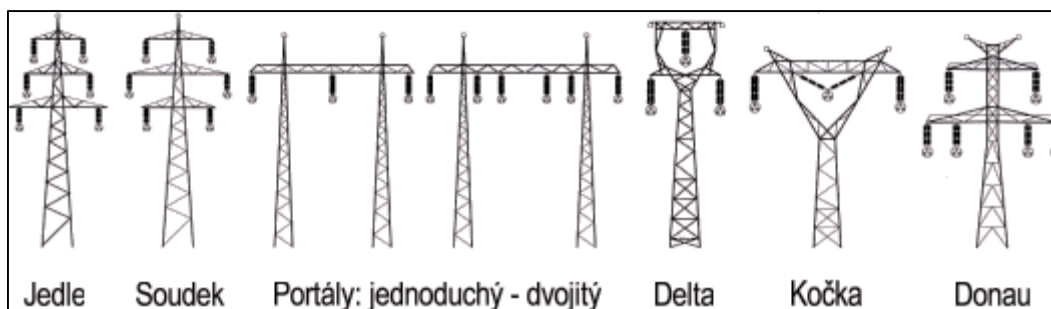
Ve vedení se převážně využívají nosné stožáry, které jsou v určitých vzdálenostech doplněny o výztužné (kotevní). Výztužné stožáry se umísťují do vzdálenosti maximálně 3 km (pokud stožáry nejsou dimenzovány na kroucení způsobené přetržením vodiče) a do 5 km (pokud jsou dimenzovány na kroucení). Jejich umístění také zabrání řetězové reakci při poruše, viz. obrázek 1-1. Na začátek a konec přenosové soustavy bývá umístěn koncový stožár. Podle funkce stožáru se také odvíjí kombinace zatížení.



Obrázek 1-1: Trasa s nosnými a výztužnými stožáry při poruše [3]

Nejčastější typy ocelových příhradových stožárů jsou znázorněny na obrázku 1-2. První tři typy stožárů byly stavěny spíše v minulosti. Dnes se častěji využívá složitějších tvarů- Delta, Kočka, Donau.

V této práci budou řešeny stožáry typu soudek.



Obrázek 1-2: Nejčastější typy stožárů v ČR [11]

2. Mechanika venkovního vedení

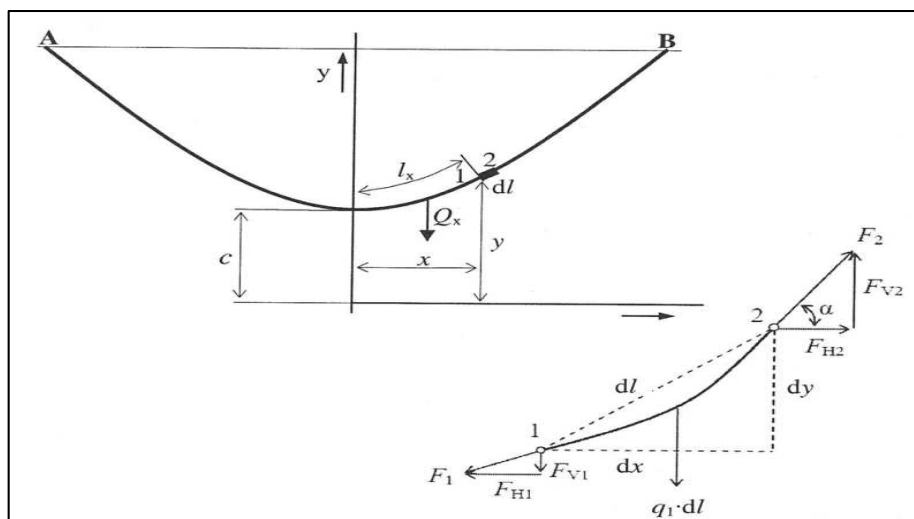
Mechanický výpočet namáhání zavěšeného vodiče ve dvou neposuvných bodech, zatíženého spojitým zatížením q , které působí ve svislé rovině, předpokládá, že se prohne do tvaru průhybové křivky. Průhybovou křivku lze vyjádřit pomocí řetězovky nebo paraboly, ze které je možné vyjádřit maximální průhyb a mechanické napětí ve vodiči potřebné pro zjištění působení vodiče na stožár velmi vysokého napětí.

Při výpočtu vodiče tížnou řetězovkou se předpokládá rovnoměrné rozdělení tíhy vodiče a přidavného zatížení (námraza, vítr) po délce vodiče.

Tížnou řetězovku je možné nahradit parabolickou v případě, že maximální průvěs tížné řetězovky $f_m < 0,1 L$. Jedná se tak o řetězovku s malým průvěsem a je tedy uvažována vlastní tíha lana g jako svislé spojitě zatížení q , rovnoměrně rozdělené po horizontálním průmětu lana.

2.1 Odvození průhybové křivky

Pro odvození průhybové křivky se vychází z mechanických podmínek rovnováhy. Pokud je vektorový součet sil roven nule, vodič je v rovnováze. Podmínky rovnováhy se vyšetří na elementu průhybové křivky o délce dl (m).



Obrázek 2-1: Element délky průhybové křivky [2]

Ze statických podmínek rovnováhy vyplývá

1. Součet sil ve směru **osy x** se rovná 0, $\Sigma F_x = 0$:

$$F_{H1} - F_{H2} = 0 \quad \longrightarrow \quad F_{H1} = F_{H2} \quad (2.1)$$

Vodorovná složka síly F_H je v každém bodě křivky stejná.

2. Součet sil ve směru **osy y** se rovná 0, $\Sigma F_y = 0$:

$$F_{V2} - F_{V1} - q_1 dl = 0 \quad \longrightarrow \quad F_{V2} - F_{V1} = dF_V = q_1 dl . \quad (2.2)$$

Síly F_V jsou síly působící svisle v bodech 1 a 2 (Obrázek 2-1). Vlastní tíha vodiče q_1 je vyjádřena na daném elementu.

Vertikální složka v daném bodě je rovna tíze vodiče na délce dl . Ve vrcholu průhybové křivky je minimální (nulová) a v závěsném bodě je maximální.

3. **Podmínka dokonalé ohebnosti vlákna.** Z důvodu nejasné polohy výslednice zatížení q nelze využít momentové podmínky.

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{dy}{dx} = \frac{F_V}{F_H} \quad \longrightarrow \quad F_V dx = F_H dy \quad (2.3)$$

Z uvedených podmínek rovnováhy (1 až 3) lze vyjádřit **diferenciální rovnici průhybové křivky**.

$$q_1 \sqrt{1 + (y')^2} = F_H \frac{dy'}{dx} \quad (2.4)$$

Dále je rovnice řešena separací a následně dvojitou integrací.

$$\int \frac{dy'}{\sqrt{1 + (y')^2}} = \int \frac{q_1}{F_H} \cdot dx \quad (2.5)$$

$$\operatorname{arcsinh}(y') = \frac{q_1}{F_H} \cdot (x + k_1) \quad (2.6)$$

$$y' = \sinh \left[\frac{q_1}{F_H} \cdot (x + k_1) \right] \quad (2.7)$$

$$y = \frac{F_H}{q_1} \cdot \cosh \left[\frac{q_1}{F_H} \cdot (x + k_1) \right] + k_2 \quad (2.8)$$

Integrační konstanty jsou po zavedení počátečních podmínek ($x = 0$ a $y' = 0$) odstraněny a je vyjádřena **rovnice tížné řetězovky**,

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}, \quad (2.9)$$

kde c je parametr řetězovky (m) a je roven

$$c = \frac{F_H}{q_1} = \frac{\sigma_H}{\gamma}. \quad (2.10)$$

Kde: F_H je vodorovná složka tahu ve vodiči (N);

σ_H je vodorovná složka mechanického napětí (MPa);

γ je měrná tíha vodiče ($\text{N/mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$);

q_1 je tíha vodiče (N/ m).

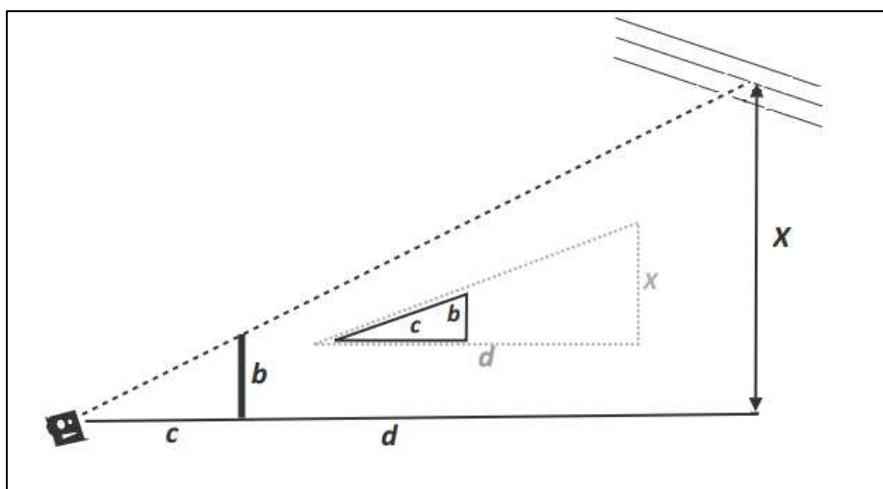
2.2.2 Počáteční podmínka

Pro výpočet sil, které působí v důsledku zavěšení vodičů na konstrukci, je v řešení využito tížné řetězovky. Poněvadž v technické dokumentaci nejsou uvedeny údaje, ze kterých by při výpočtu bylo možné vycházet, bylo nutné je stanovit experimentálně. Vzhledem k nesnadnému přímému změření konstrukce bylo přistoupeno k alternativní metodě založené na odhadu vzdálenosti z podobnosti trojúhelníku. Pro přesnější výsledky by bylo vhodné použít nivelační přístroj, přesto použití této optické metody může být poměrně přesné a pro tuto práci dostačující.

Jako počáteční podmínka byl zvolen maximální průhyb vodiče f_m , který se nachází uprostřed rozpětí.

Z příložené dokumentace známe osovou vzdálenost stožárů a výšky, ve kterých je vodič umístěn.

Měření bylo provedeno uprostřed rozpětí a vycházelo z podobnosti trojúhelníku. Obrázek 2-3 vysvětluje princip stanovení výšky vodiče od země.



Obrázek 2-3: Znázorněný způsob měření- podobnost trojúhelníku [12]

Pro výpočet bylo nutné stanovit prostředek pole. Ten byl změřen pomocí digitálního laserového měřiče vzdáleností. Řešený stožár je sice umístěn výše, než stožár rohový, jejich rozdíly výšek jsou ale vynulovány rozdílně umístěnými vodiči. Další postup byl proveden pomocí dvou osob. Jedna osoba s metrem byla postavena do vzdálenosti $(d - c)$ od středu vodiče, druhá osoba s fotoaparátem byla ve vzdálenosti d . Fotoaparát byl umístěn na zem, aby

nedocházelo ke zkreslení. Po vyfotografování byla odečtena výška z metru, která odpovídala zakrytému vodiči.



Obrázek 2-4: Stanovení výšky b , vzdálenost od fotoaparátu k metru je c a vzdálenost fotoaparátu pod střed vodiče je d .

$$\frac{x}{b} = \frac{d}{c} \quad (2.13)$$

$$x = \frac{d \cdot b}{c} \quad (2.14)$$

Vzdálenost x je nutné ještě odečíst od výšky, která je rovna výšce uchycení vodiče. Tímto je potom určen maximální průhyb vodiče f_m a je možné stanovit další parametry pro výpočet vnitřních sil.

Pro stanovení parametru řetězovky se tedy vychází ze znalosti parametru a a f_m . V rovnici pro maximální průhyb lze rozvinout hyperbolickou funkci \cosh do Taylorovy řady,

$$\cosh x = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^6}{6!}, \quad (2.15)$$

a z ní vyjádřit parametr řetězovky c . Při dosazení do prvních dvou členů

$$f_m = c \cdot \left(\frac{a^2}{8 \cdot c^2} \right) = \frac{a^2}{8 \cdot c}, \quad (2.16)$$

nebo do prvních třech členů

$$f_m = \left(\frac{a^2}{8 \cdot c} + \frac{a^4}{384 \cdot c^3} \right), \quad (2.17)$$

řady vychází rozdíl v řádech 10^{-1} a snižuje se se zvyšujícím průhybem. Proto je možné tvrdit, že pro malé průhyby je postačující rozvoj do prvních dvou členů řady.

Tabulka 2-1: Porovnání hodnot parametru řetězovky

f_m [m]	Parametr řetězovky c [m] (2. řád rozvoje)	Parametr řetězovky c [m] (3. řád rozvoje)	Rozdíl
1	5278,7813	5278,9385	-1,57E-01
2	2639,3906	2639,6881	-2,97E-01
3	1759,5938	1760,0162	-4,22E-01
4	1319,6953	1320,2292	-5,34E-01
5	1055,7563	1056,3897	-6,33E-01
6	879,7969	880,5191	-7,22E-01

Po získání parametru řetězovky již lze dopočítat veškeré další potřebné parametry.

Konkrétní problém je řešen v kapitole 5.3.2.

2.3 Stavová rovnice

Teplotní změny a působení mrazu na vodiče vyvolávají reakce vodiče na konstrukci. Dochází ke změnám mechanického napětí a délek vodiče, což ovlivní výsledné síly působící v závěsech vodiče a změnu průhybu vodiče. Stanovíme tedy nejnepříznivější stavy, kterým by konstrukce mohla být vystavena.

Vodiče se montují při různých teplotách a musí tak být při montáži napínány na takové mechanické napětí a průhyb, aby vyhovoval normovým podmínkám. Tyto informace musí být uvedeny v montážní tabulce. Při posudku již stávajících konstrukcí často tyto informace nejsou k dispozici.

Dráha nosného stožáru je přímá a tahové síly se z obou rozpětí vyruší, anebo omezí na malé účinky (záleží na rozdílu mezi rozpětím jednotlivých polí a rozdílu výšek stožárů). V této práci je řešen stožár koncový. Vodiče jsou umístěny jen v posledním poli stožárů a tahy působí pouze z jedné strany konzoly. Tahy vodičů se významně mění s teplotou a dalším proměnným zatížením. Vyvozují i desetinásobně větší síly ve vodorovném směru oproti silám svislým, způsobenými vlastní tíhou. Hodnota při 10°C je stanovena z experimentálního měření a vyjádřena z rovnice tížné řetězovky. Změnu tahu je možno spočítat ze **stavové rovnice**.

Kontrola vedení pro ČR je stanovena v normě [5], pro tyto stavy počasí:

1. – 5°C, bezvětří, normální námraza. Jedná se o tzv. základní stav počasí.
2. – 5°C, vítr, bez námrazy.
3. + 40°C, bez větru.
4. – 30°C, bez větru, bez námrazy.
5. – 5°C, vítr, normální námraza.

Namáhání vodičů pro stavy počasí 1. až 5. nesmí překročit dovolené hodnoty stanovené pro jednotlivé materiály.

2.4 Odvození stavové rovnice

Změna teploty $\Delta\vartheta$ způsobí prodloužení (popř. zkrácení) prvku o hodnotu Δl .

$$\Delta l_{\vartheta} = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \quad (2.18)$$

Při prodloužení vodiče dojde ke zvětšení průhybu a snížení mechanického napětí.

$$\Delta l_{\sigma} = \frac{l_0}{E} \cdot \Delta\sigma_H \quad (2.19)$$

Celková změna délky vodiče bude:

$$\Delta l = \Delta l_{\vartheta} - \Delta l_{\sigma} = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta - \frac{l_0}{E} \cdot \Delta\sigma_H. \quad (2.20)$$

Délka vodiče při teplotě ϑ_0 a ϑ_1 je odvozena z rovnice paraboly. Řetězovku je možno nahradit parabolou do rozpětí 400 m [2].

$$l_0 = a + \frac{a^3}{24 \cdot c_0^2} \quad (2.21)$$

$$l_1 = a + \frac{a^3}{24 \cdot c_1^2} \quad (2.22)$$

Změny délek vodičů se musí rovnat. Můžeme uvažovat, že $l_0 = a$.

$$\frac{a^2 \cdot (\gamma')^2}{24 \cdot \sigma_{H1}^2} - \frac{a^2 \cdot (\gamma')^2}{24 \cdot \sigma_{H0}^2} = \alpha \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) + \frac{1}{E} \cdot (\sigma_{H1} - \sigma_{H0}) \quad (2.23)$$

Rovnici vynásobíme $E \cdot \sigma_{H1}^2$ a dále upravíme do výsledného tvaru stavové rovnice.

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[A \cdot \left(\frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + B \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = A \cdot (a \cdot z_1)^2 \quad (2.24)$$

$$A = \frac{(\gamma')^2 \cdot E}{24} \quad (2.25)$$

$$B = \alpha \cdot E \quad (2.26)$$

Kde: σ_{H0}, σ_{H1} vodorovné mechanické napětí ve stavech 0 a 1 [MPa];
 E modul pružnosti vodiče [MPa];
 ϑ_0, ϑ_1 teplota okolí ve stavech 0 a 1 [°C];
 z_0, z_1 přetížení vodiče ve stavech 0 a 1 [-];
 α součinitel tepelné roztažnosti vodiče [°C].

V kapitole 5.6 je uveden výpočet a hodnoty pro stavy uvedené v normě [5].

3. Zatížení

Zatížení působící na konstrukci je možné rozdělit dle proměnlivosti zatížení v čase a odezvy konstrukce na zatížení.

Podle působení v čase je možno rozdělit na stálé, což je vlastní tíha, zatížení vodičů a proměnné, např.: vítr, teplota, námraza.

Odezvy konstrukce jsou statické či dynamické. Dynamické odezvy můžeme nahradit příslušným kvazistatickým statickým účinkem zatížením.

Spolehlivost venkovních vedení je stanovena normou. Je rozdělena do tří úrovní (Tabulka 3.1) odpovídajících určité teoretické době návratu T klimatických zatížení. Stožáry venkovního vedení musí být klasifikovány minimálně úrovní spolehlivosti 1.

Tabulka 3-1: Úrovně spolehlivosti [5]

Úroveň spolehlivosti	Teoretická doba návratu T klimatických zatížení [roky]
1	50
2	150
3	500

3.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení je značeno písmenem G . Návrhové hodnoty jsou získány součinem charakteristické hodnoty a dílčího součinitele γ_G .

Stálé zatížení vodičů je vyjádřeno pomocí tížné řetězovky. Osové síly ve vodičích jsou přepočítány na svislou a vodorovnou složku, které se umístí do působišť v závěsech.

3.2 Proměnné zatížení

Proměnné zatížení se značí písmenem Q . Návrhové hodnoty jsou získány součinem charakteristické hodnoty a dílčího součinitele γ_Q .

3.2.1 Zatížení větrem

Obecně jsou vysoké a štíhlé konstrukce citlivé na namáhání větrem. Vlastní tíha stožárů není vysoká a tak se vítr významně podílí na zatížení. Působí na prvky stožáru, ale i na jednotlivé vodiče a vyvolává jak statické, tak dynamické účinky. Dynamické účinky se ve výpočtu zohledňují pomocí součinitelů konstrukce G_c , C_c pro vodiče a G_m , C_m pro příhradové prvky stožáru.

Zatížení větrem bylo v této podkapitole vypracováno dle platné normy [5]. Klimatické údaje vychází z normy [6].

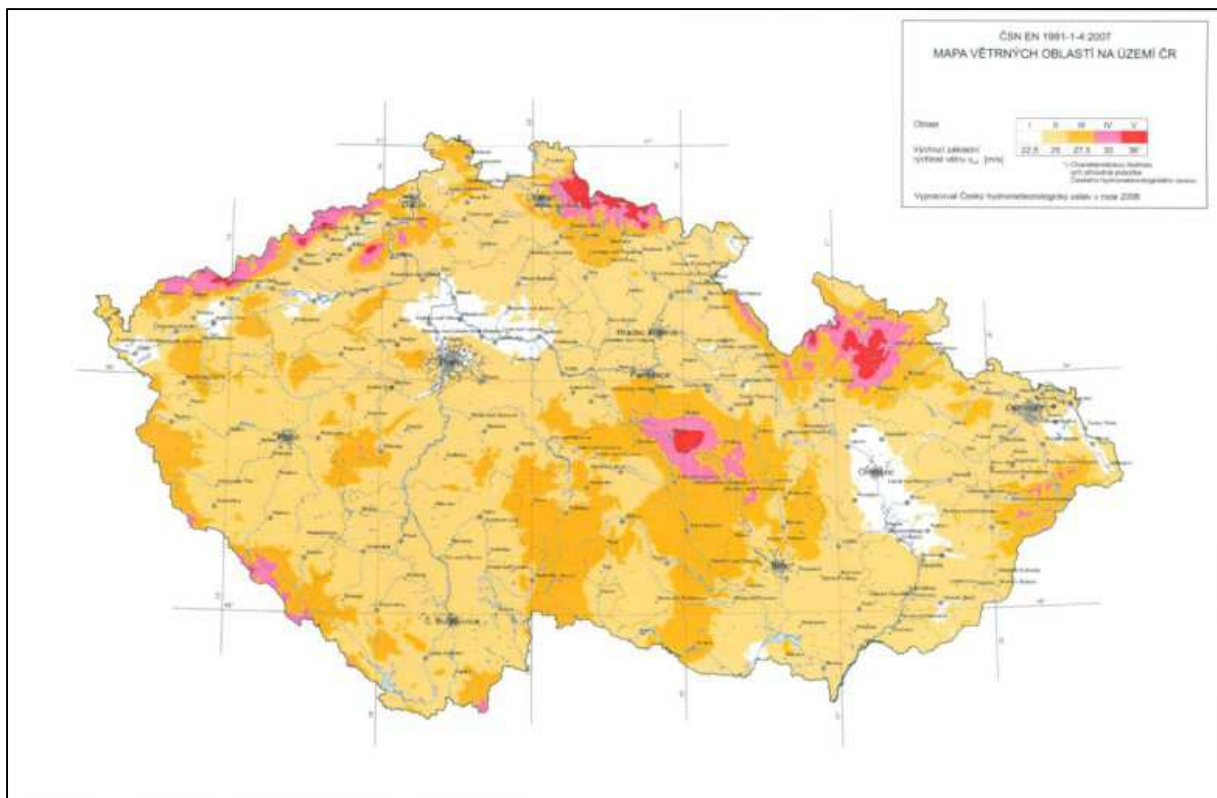
Základní rychlost větru $V_{b,0}$

Je charakteristická hodnota, pravděpodobnost překročení v jednom roce je 0,02. Vychází se z doby návratu 50 let.

Základní rychlost větru se definuje jako desetiminutová rychlost větru v 10 metrech nad zemí v otevřené krajině. Není závislá na ročním období ani jejím směru.

Tabulka 3-2: Základní rychlost větru [6]

Oblast		Základní rychlost větru $V_{b,0}$ [m/s]
I		22,5
II		25
III		27,5
IV		30
V		36



Obrázek 3-1: Mapa větrných oblastí ČR [6]

Střední rychlost větru $V_{h(h)}$

Odvíjí se od základní rychlosti větru V_{b0} , součinitele směru větru c_{dir} , referenční výšky uvažované složky nad zemí h , parametru drsnosti terénu z_0 a součinitele orografie c_0 .

Hodnota součinitele směru větru c_{dir} pro různé směry větru je stanovena v národní příloze [5]. Doporučená hodnota je 1,0.

Referenční výška nad zemí h (Tabulka 3-4), závisí na prvku vedení, na které zatížení působí.

Parametr drsnosti terénu z_0 a součinitel terénu k_r charakterizují drsnost terénu (Tabulka 3-3).

Tabulka 3-3: Kategorie terénu, parametr drsnosti terénu z_0 a součinitel terénu k_r [6]

Kategorie terénu		z_0 [m]	k_r
0	Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	0,155
I	Jezera nebo ploché a vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací	0,01	0,169
II	Oblasti, s nízkou vegetací jako je tráva, a s izolovanými překážkami (stromy, budovy) jejichž vzdálenost je větší než 20násobek jejich výšky	0,05	0,189
III	Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami a izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je max. 20násobek jejich výšky (vesnice, předměstí, les)	0,3	0,214
IV	Oblasti, kde je min. 15% povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž prům. výška je větší než 15 m.	1	0,233

Doporučená hodnota součinitele orografie je 1,0 v případě, že je sklon návětrné strany do 5 %.

Vztah pro výpočet střední rychlosti větru:

$$V_h(h) = V_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_0 \cdot k_r \cdot \ln \frac{h}{z_0}. \quad (3.1)$$

Střední tlak větru $q_h(h)$

Hodnota tlaku větru se odvíjí od hustoty vzduchu ρ a střední rychlosti větru $v_h(h)$.

$$q_h(h) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2(h) \quad (3.2)$$

Hustota vzduchu je rovna 1,225 kg/m³ při teplotě 15°C a atmosférickém tlaku 1013 hPa. Pro jiné hodnoty teploty a atmosférického tlaku se hustota musí stanovit početně

$$\rho' / \rho = \frac{288}{T'} \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H}, \quad (3.3)$$

kde je: ρ' hustota vzduchu pro absolutní teplotu T' v nadmořské výšce H ,

H referenční nadmořská výška v metrech,

T' absolutní teplota ve stupních Kelvina v nadmořské výšce H ,

nebo lze použít relativní hodnoty z tabulky.

Tabulka 3-4: Poměrná hodnota hustoty vzduchu ρ jako funkce nadmořské výšky H a teploty T [5]

Teplota T	Nadmořská výška H			
°C	0 m	600 m	1200 m	1800 m
-30	1,18	1,10	1,02	0,95
-20	1,13	1,05	0,97	0,91
-5	1,08	1,00	0,93	0,87
5	1,04	0,96	0,90	0,84
15	1,00	0,93	0,86	0,80
30	0,96	0,89	0,83	0,77

Intenzita turbulence $I_v(h)$

Je definována v referenční výšce nad zemí h jako podíl směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru.

$$I_v(h) = \frac{1}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (3.4)$$

Maximální tlak větru $q_p(h)$

Tlak větru, který uvažuje vliv intenzity turbulence v dané referenční výšce.

$$q_p(h) = [1 + 7 \cdot I_v(h)] \cdot q_h(h) \quad (3.5)$$

3.2.1.1 Síly větru na vodiče

Tlak větru na vodiče vyvolá síly příčně k vedení a zvýší tah ve vodičích.

Síly působící na podpěrný bod závisí na úhlu mezi směrem větru a osou konzoly. V případě, že vítr působí v ose konzoly (kolmo na vodiče) a úhel mezi vodičem a konzolou je 90° , je požadovaný úhel náběhu ϕ roven nule. Dále do výpočtu vstupuje maximální tlak větru $q_p(h)$ (3.5), součinitel konstrukce pro vodič (součinitel rozpětí) G_c , součinitel aerodynamického odporu pro vodič C_c , průměr vodiče d , délky dvou sousedních rozpětí L_1 a L_2 . θ_1 a θ_2 jsou úhly změny trasy, které se při výpočtu přímého vedení nezohlední.

Obecná rovnice síly větru na podpěrný bod ze dvou sousedních polí od jednoho vodiče je:

- ve směru konzoly

$$Q_{Wc_v} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \left[\pm \frac{L_1}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (3.6)$$

- kolmo na konzolu

$$Q_{Wc_u} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \left[\pm \frac{L_1}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \cdot \sin \left(\frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cdot \sin \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (3.7)$$

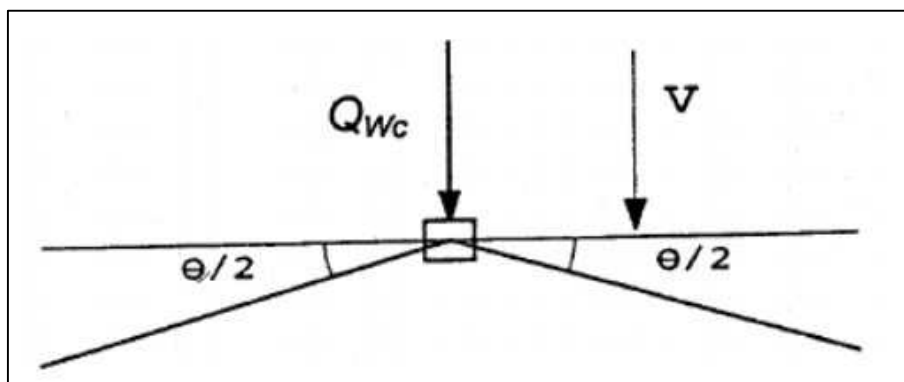
U stožárů v přímé trase je úhel $\theta = \theta_1 = \theta_2$ roven 0, potom:

- ve směru konzoly

$$Q_{Wc_v} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \cos^2 \phi \cdot \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right) \quad (3.8)$$

- kolmo na konzolu

$$Q_{Wc_u} = 0 \quad (3.9)$$



Obrázek 3-2: Síly větru na vodič v přímé trase [5].

Referenční výška vodiče nad zemí h , která se uvažuje při výpočtu, se stanoví podle normy.

V tabulce 3-4 je uvedeno devět způsobů stanovení referenční výšky.

Tabulka 3-4: Určení referenční výšky vodičů nad zemí [5]

Referenční výška h vodiče nad zemí	Individuální výška h_i	Střední vážená výška h_w	Střední aritmetická výška h_a
umístěná	$h = h_i$	$h = h_w = \frac{\sum_{i \geq 1}(n_i \cdot d_i \cdot h_i)}{\sum_{i \geq 1}(n_i \cdot d_i)}$	$h = h_a = \frac{\sum_{i \geq 1}(n_i \cdot h_i)}{\sum_{i \geq 1} n_i}$
v těžišti	1	2	3
v závěsném bodu na izolátorovém závěsu	4	5	6
v závěsném bodu izolátorového závěsu na podpěrném bodu	7	8	9

Kde je

h_i referenční výška nad zemí těžiště vodiče ve výškové úrovni i ;

h_w střední vážená výška všech vodičů;

h_a střední aritmetická výška všech vodičů;

d_i průměr vodiče ve výškové úrovni i ;

n_i počet vodičů stejného průměru d_i ve výškové úrovni i .

Součinitel konstrukce G_c

Závisí na součiniteli maximální hodnoty k_p , který je definovaný jako poměr maximální hodnoty odezvy k její směrodatné odchylce. Může být stanovena normou, ale doporučuje se hodnota 3,0. Dále je ovlivněn intenzitou turbulence $I_v(h)$ (3.4), součinitelem odezvy pozadí B^2 (3.11) a součinitelem rezonanční části odezvy R^2 , který zohledňuje turbulence v rezonanci s tvarem kmitání. Rezonanci ve směru větru můžeme zanedbat, R^2 je rovno nule.

$$G_c = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(h) \cdot \sqrt{(B^2 + R^2)}}{1 + 7 \cdot I_v(h)} \quad (3.10)$$

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L(h)}} \quad (3.11)$$

Kde

L_m střední hodnota délek obou sousedních rozpětí;

L_h měřítko délky turbulence v referenční výšce vodiče h .

$$L(h) = 300 \cdot \left(\frac{h}{200} \right)^{0,67+0,05 \cdot \ln(z_0)} \quad (3.12)$$

Součinitel aerodynamického odporu C_c

V normě [5] jsou uvedeny 3 metody stanovení součinitele aerodynamického odporu. První metoda uvádí pro běžně používané vodiče hodnotu 1. Druhá metoda vychází ze zkoušek ve větrném tunelu. Třetí metoda je výpočtová a závisí na hodnotě Reynoldsova čísla Re :

$$\text{pro } Re \leq 6 \cdot 10^4 \quad C_c = 1,2;$$

$$\text{pro } Re \geq 10^5 \quad C_c = 0,9;$$

Mezilehlé hodnoty lze určit lineární interpolací.

Při zkoumání vlivu větru na vodiče je nutné zohlednit i tah, který se působením tlaku větru zvýší. Je tedy možné dosadit do stavové rovnice (2.24) a vyjádřit hodnotu tahu ve vodičích způsobenou větrem. Hodnota přetížení z_1 je vyjádřena zatížením způsobeným větrem ve směru konzoly q_{wc_v} a zatížením od vlastní tíhy vodiče g .

$$z_1 = \frac{\sqrt{q_1^2 + q_{wc}^2}}{q_1} \quad (3.13)$$

3.2.1.2 Síla větru na příhradové stožáry

Vítr působí jak na vodiče, které přenášejí síly na konstrukci (3.2.1.1), tak na samotné prvky příhradového stožáru.

V normě se síly na stožár stanoví pomocí dvou metod:

Metoda 1: Stožár se rozdělí do několika polí, na které se jednotlivě stanoví působící síly. V případě, že je stožár pravoúhlý, působí síla větru v těžišti každého pole stožáru.

$$Q_{Wt} = q_p(h) \cdot G_t \cdot (1 + 0,2 \cdot \sin^2 2\phi) \cdot (C_{t1} \cdot A_{t1} \cdot \cos^2 \phi + C_{t2} \cdot A_{t2} \cdot \sin^2 \phi) \quad (3.14)$$

Součinitel konstrukce G_t je roven jedné. Dle normy lze stanovit i početně rovnicí:

$$G_t = \frac{1 + 6 \cdot I_v(h) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_v(h)} \quad (3.15)$$

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{H_t}{L(h)}} \quad (3.16)$$

Ve výpočtu součinitele odezvy pozadí B^2 značí H_t celkovou výšku stožáru a $L(h)$ měřítko délky turbulence. Součinitel aerodynamického odporu C_{ti} je vztažen ke stěně daného pole stožáru. Je určen součinitelem plnosti χ :

$$C_{ti} = 3,96 \cdot (1 - 1,5 \cdot \chi + \chi^2) \quad (3.17)$$

$$\chi = A_t \cdot \frac{2}{h \cdot (b_1 + b_2)} \quad (3.18)$$

V rovnici je h značeno jako výška panelu a šířka stožáru v níže položené rovině b_1 a ve vyšší rovině b_2 .

Síla na příhradovou konzolu se stanoví rovnicí:

$$Q_{Wtc} = q_p(h) \cdot G_{tc} \cdot C_{tc} \cdot A_{tc} \cdot (\sin \phi + 0,4 \cdot \cos \phi) \quad (3.19)$$

Význam symbolů je stejný jako u stanovení sil na jednotlivá pole.

Metoda 2: Síly větru se stanoví na každý prvek, který má osu kolmou ke směru větru, zvlášť. Sílu na prvek se určí z rovnice:

$$Q_{Wm} = q_p(h) \cdot G_m \cdot C_m \cdot A_m \cdot \cos^2 \phi_m \quad (3.20)$$

Hodnota součinitele konstrukce G_m je doporučena jako 1,0, lze ale stanovit výpočtem dle rovnice (3.14). Součinitel C_m se stanoví podle typu prvku. Pro jednotlivé profily jsou doporučené hodnoty stanoveny v normě. Hodnota použita v práci je pro úhelníky 1,6.

3.2.2 Zatížení námrazou

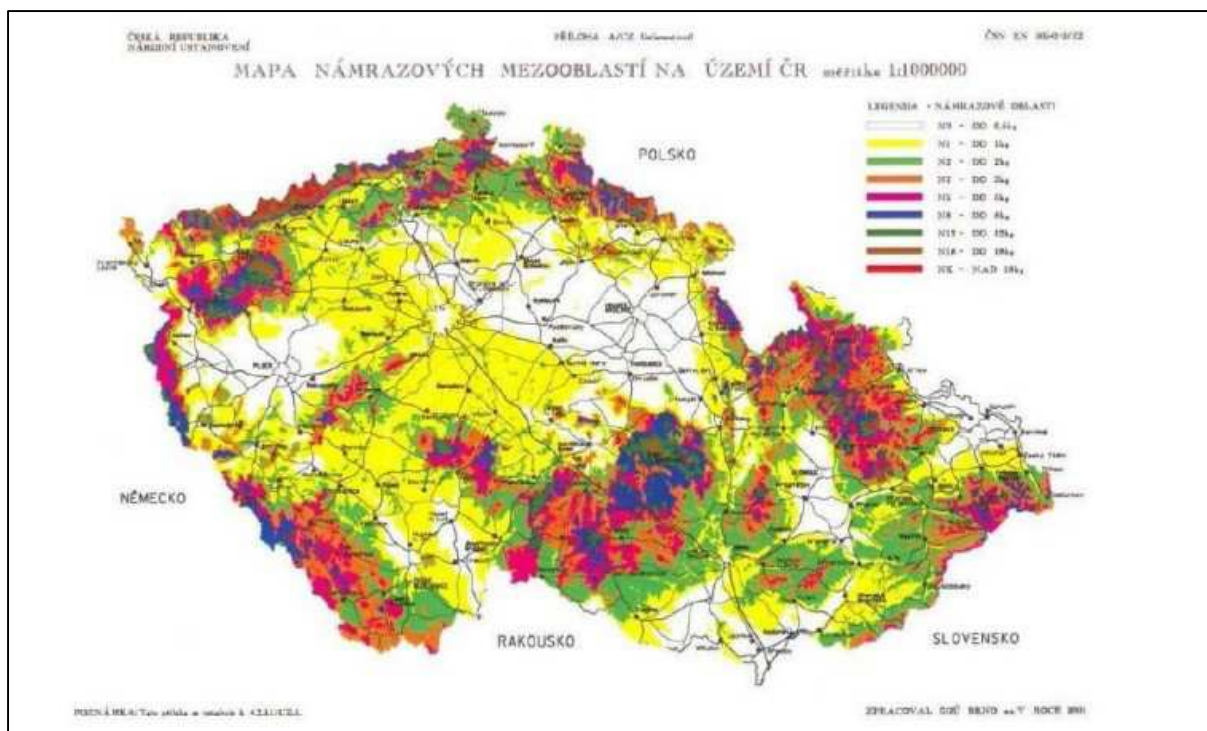
Námraza vzniká v prostředí, kde dochází k mrznutí vody, zvýšenému obsahu nasycených vodních par anebo v místě teplotního zvratu (inverze). Pro vodiče představuje zvýšení zatížení a může způsobit přetržení vodičů. Na území České republiky se námraza tvoří nejčastěji při teplotě -5°C . Při nižších teplotách klesá vlhkost vzduchu a i pravděpodobnost vzniku námrazy.

Referenční zatížení námrazou I_R

Referenční zatížení námrazou je zatížení na jednotkovou délku vodiče ve výšce $h = 10\text{ m}$. Hodnoty jsou odvozené ze statisticky naměřených hodnot na měrné tyči o průměru 30 mm po dobu 20 let a rozdělené do devíti námrazových oblastí (Tabulka 3-5). Hledaná oblast se odečte z mapy námrazových oblastí v ČR (Obrázek 3-3).

Tabulka 3-5: Rozdělení námrazových oblastí dle [7]

Námrazová oblast	Referenční zatížení námrazou [N/m]		Zatížení izolátorových závěsů [N/m]
	$d \leq 30\text{ mm}$	$d > 30\text{ mm}$	
N0	$1,298 + 0,1562\text{ d}$	$5,267 + 0,0239\text{ d}$	35
N1	$3,873 + 0,2698\text{ d}$	$10,566 + 0,0467\text{ d}$	70
N2	$10,566 + 0,4457\text{ d}$	$21,423 + 0,0838\text{ d}$	140
N3	$18,305 + 0,5866\text{ d}$	$33,032 + 0,0957\text{ d}$	210
N5	$35,376 + 0,8155\text{ d}$	$55,569 + 0,1424\text{ d}$	350
N8	$63,077 + 1,0890\text{ d}$	$90,254 + 0,1831\text{ d}$	350
N12	$102,063 + 1,3852\text{ d}$	143,619	350
N18	$162,924 + 1,7501\text{ d}$	215,427	350
NK	Stanoví se individuálně		



$$I_d = I_K \cdot \gamma_1. \quad (3.24)$$

Kde γ_1 je dílčí součinitel zatížení námrazou, daný úrovní spolehlivosti konstrukce.

3.2.2.1 Zatížení vodičů námrazou

Námraza na vodičích zvýší svislé síly od vlastní tíhy vodičů a také způsobí navýšení tahu ve vodiči.

Svislé zatížení ze dvou sousedních polí způsobené dílčím vodičem je vyjádřeno zatížením námrazou na jednotku délky vodiče I a váhovým příspěvkem L_{w1} a L_{w2} z délek obou přilehlých rozpětí.

$$Q_I = I \cdot (L_{w1} + L_{w2}). \quad (3.25)$$

Způsobené tahy ve vodiči jsou odvozené ze stavové rovnice (2.24). Námraza se zohlední v hodnotě přetížení z_I . Přetížení je závislé na velikosti návrhového zatížení námrazou I_d a zatížení od vlastní tíhy vodiče g .

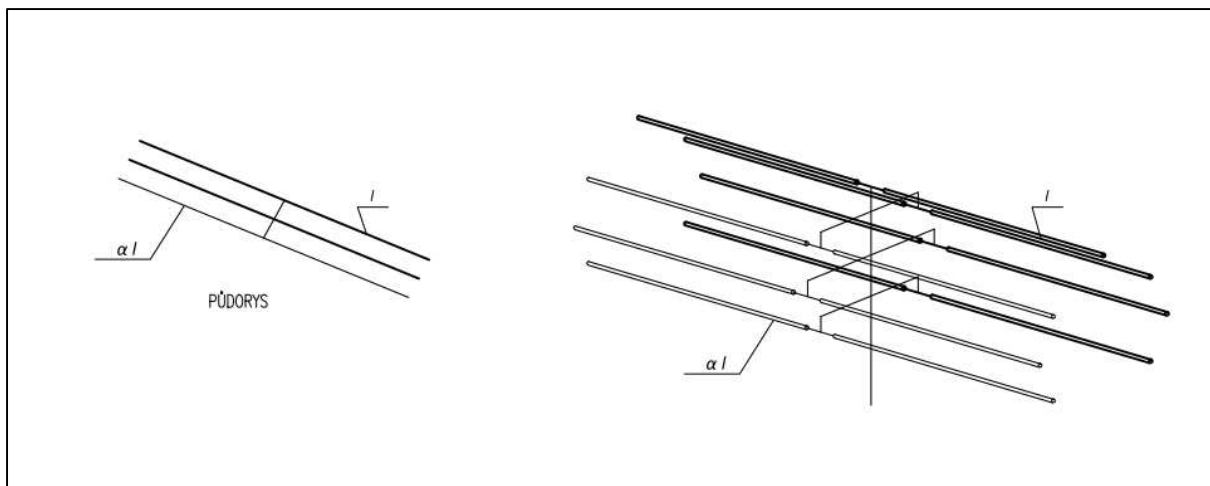
$$z_1 = \frac{(I_d + q_1)}{q_1} \quad (3.26)$$

3.2.3 Zatížení nerovnoměrnou námrazou

Zatížení nerovnoměrnou námrazou může způsobit příčný ohyb, podélný ohyb nebo kroucení. V případě koncového stožáru se předpokládá pouze možnost příčného ohybu.

Vyšetří se tedy vliv sníženého zatížení námrazou. Dle normy **Error! Reference source not found.** se vypočítá jako součin charakteristického zatížení námrazou a redukčního součinitele α . Snížené zatížení působí pouze na jedné straně podpěrného bodu.

Normou **Error! Reference source not found.** je doporučená hodnota $\alpha = 0,5$.



Obrázek 3-4: Nerovnoměrná námraza- příčný ohyb

3.2.4 Zatížení větrem a námrazou

Vítr a námraza mohou působit současně a nejvíce ovlivní vodiče. Plocha prvku se zvětší o námrazu a tím se zvýší větrem namáhaná plocha. Závisí na rychlosti větru, hmotnosti a tvaru námrazku. V normě [5] jsou stanoveny dvě kombinace.

První kombinace je extrémní zatížení námrazou I_T kombinované s rychlostí větru s vysokou pravděpodobností V_{IH} . Druhou kombinací je jmenovité zatížení námrazou I_3 kombinované s rychlostí větru s nízkou pravděpodobností V_{IL} .

Srážky rozdělujeme podle druhu na: jinovatku, mokrý sníh a mrznoucí déšť. Typ námrazy ovlivní výpočet síly větru na vodiče a ekvivalentní průměr omrzlého vodiče D .

Tabulka 3-6: Součinitel aerodynamického odporu C_{ic} a hustota námrazy ρ_i pro různé typy námrazy [5]

Typ námrazy	C_{ic}	ρ_i [kg/m ³]
Mokrý sníh	1	500
Mrznoucí déšť	1	900
Lehká jinovatka	1,2	300
Těžká jinovatka	1,1	700

Na území ČR uvažujeme pro výpočet mokrý sníh s hustotou 500 kg/m³ [7].

Dynamický tlak větru

Výpočet působení větru na omrzlý vodič je ponížěn součinitelem kombinace pro zatížení omrzlých vodičů $\psi_{wc} = 0,25$ a vychází z hodnoty středního tlaku q_h .

$$q_{hcl} = \psi_{wc} \cdot q_h \quad (3.27)$$

Ekvivalentní průměr vodiče pokrytého námrazou D

V normě [6] se předpokládá pravidelný válcový tvar námrazy s průměrem D :

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}}, \quad (3.28)$$

kde je

- d průměr vodiče [m];
- I zatížení námrazou na jednotku délky vodiče pro danou kombinaci;
- ρ_I hustota námrazy (Tabulka 3-8).

Výpočet výsledné síly, která působí na podpěrný bod je vyjádřen rovnicí (3.29), kde G_q je poryvový součinitel (3.30).

$$Q_{wcl} = q_{hcl} \cdot G_q \cdot C_c \cdot D \cdot \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot \cos^2 \phi \quad (3.29)$$

$$G_q = \left(1 + \frac{2,28}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \right)^2 \quad (3.30)$$

3.2.4.1 Zatížení podpěrných bodů silou větru na vodiče pokryté námrazou

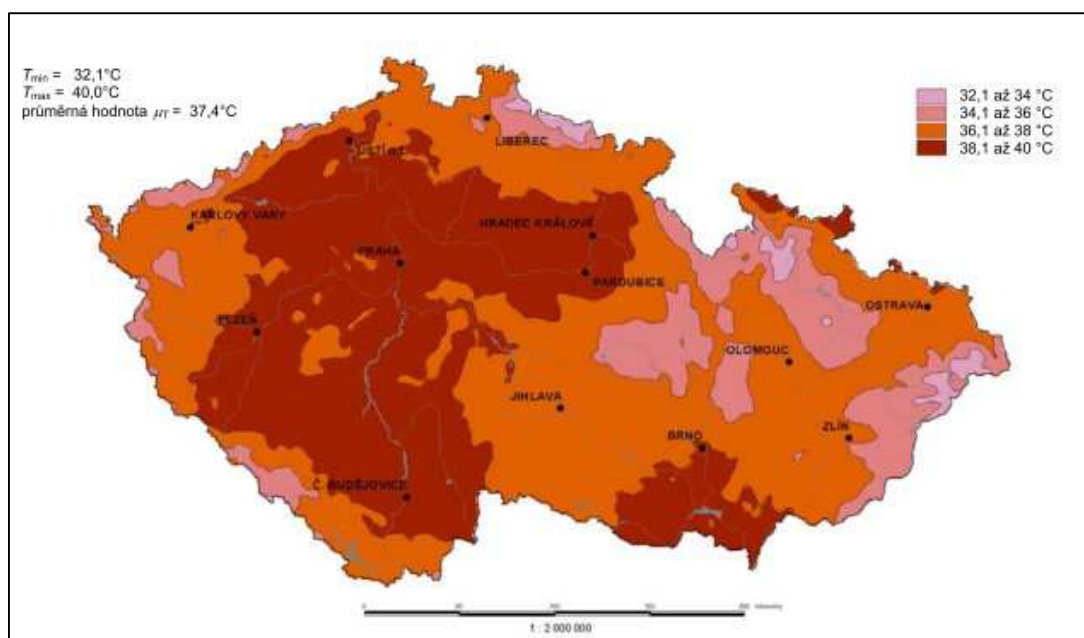
Rovnice (3.24) vyjadřuje sílu od působícího větru ve směru konzoly na omrzlý vodič. Do rovnice vstupuje dynamický tlak větru q_{hcl} , referenční výška vodiče h , součinitel konstrukce G_c , G_q je poryvový součinitel, C_{lc} součinitel aerodynamického odporu dle Tabulka 3-6, ekvivalentní průměr omrzlého vodiče D (3.28) a ϕ úhel mezi směrem větru a podélnou osou konzoly.

$$Q_{Wc_v} = q_{hcl} \cdot G_C \cdot G_q \cdot C_{Ic} \cdot D \cdot L \cdot \cos^2 \phi \quad (3.31)$$

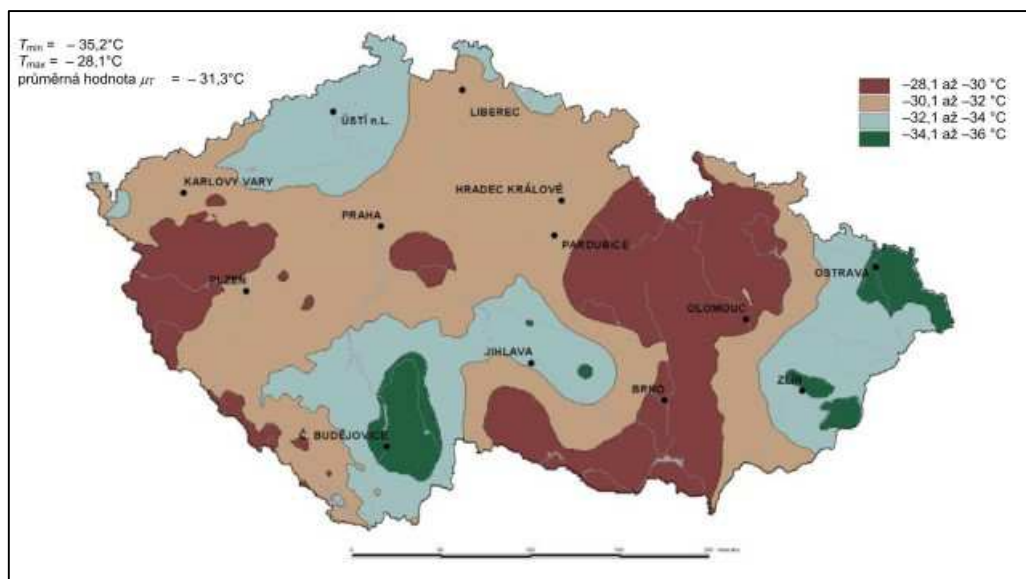
3.2.5 Zatížení teplotou

Teplota je velmi důležitý klimatický činitel z hlediska chování vodiče. Její změna způsobí změnu délky vodiče a to tak, že při zvýšení teploty se vodič prodlouží (zvětší se průhyb) a při snížení dochází ke zkrácení vodiče a zvýšení mechanického napětí. Z hlediska maximálního průhybu je důležitá maximální teplota a z minimální teploty určíme největší síly, které působí na izolátory.

V normě [8] jsou uvedeny oblasti s maximální (Obrázek 3-5) a minimální (Obrázek 3-6) teplotou.



Obrázek 3-5: Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu [8]



Obrázek 3-6: Hodnoty minimální teploty ve stínu [8]

Maximální teplota v létě, u nadzemních částí pozemních staveb, s tmavým povrchem je $T_{\max} + T_5$, kde $T_5 = 4 \text{ °C}$, pro severovýchodně orientované konstrukce.

Minimální teplota v zimě, u nadzemních částí pozemních staveb je T_{\min} .

3.3 Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy byly stanoveny dle normy [5]. Bylo vycházeno z jednotlivých zatížení popsaných v kapitolách: 3.2.1- 3.2.5.

Tabulka 3-7: Standartní zatěžovací stavy [5]

Zatěžovací stav	Podmínky
1a	Zatížení větrem
2a	Rovnoměrné zatížení námrazou ve všech rozpětích
2b	Nerovnoměrné zatížení námrazou, příčný ohyb
3	Kombinovaná zatížení větrem a námrazou
4	Minimální teplota bez zatížení větrem
5	Maximální teplota

Výpočet a jednotlivé hodnoty zatížení jsou uvedeny v posudku daného stožáru v kapitole 5.

Jednotlivé kombinace jsou sepsány v příloze 1.

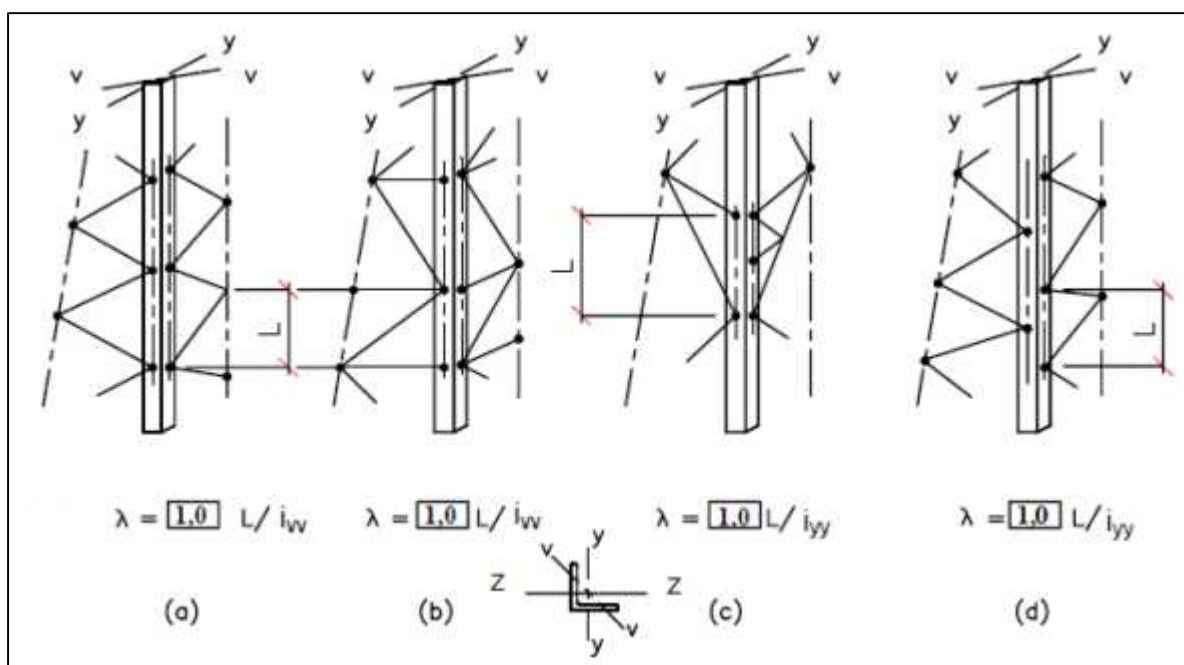
4. Mezní stavy

4.1 Mezní stav únosnosti

Stožáry VN se posuzují stejně jako jiné ocelové konstrukce. Posudek na rovinný vzpěr se liší a je uveden v normě [5] v příloze J.

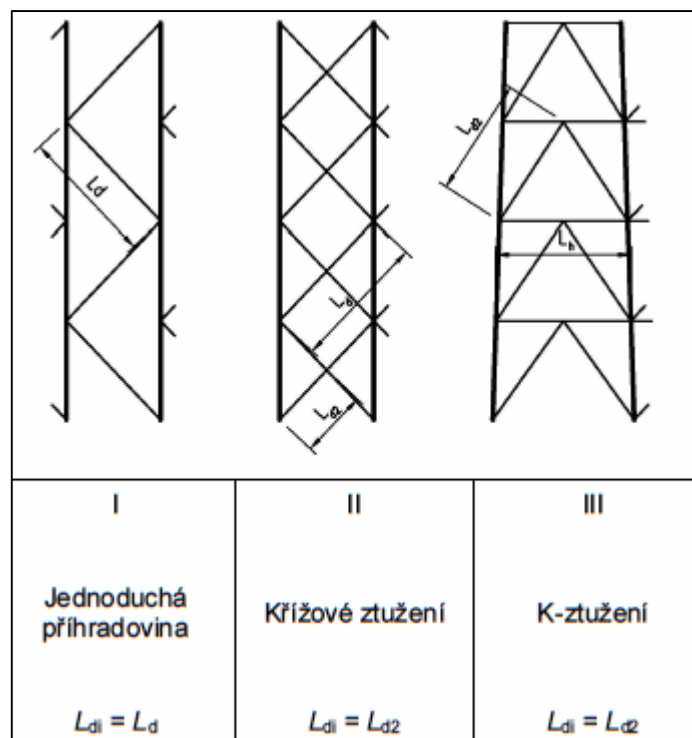
Součinitel imperfekce pro stožáry VN se má uvažovat podle [5] $\alpha = 0,13$, který odpovídá křivce vzpěrné pevnosti a_0 , podle EN 1993-1-1.

Vzpěrné délky se určí podle Obrázek 4-1 a závisí na rozmístění příhradových prvků.



Obrázek 4-1: Symetrické nebo vystřídané ztužení nárožníků [5]

Případy speciálního ztužení jsou obsaženy v normě [9]. Vzpěrná délka křížového ztužení je vysvětlena v Obrázek 4-2.



Obrázek 4-2: Schémata hlavního ztužení [9]

Efektivní poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_{eff}$, je definována zvlášť pro nárožníky a zvlášť pro prvky ztužení:

Pro nárožníky:

$$\bar{\lambda}_{eff} = \bar{\lambda} \quad (4.1)$$

Pro prvky ztužení:

Pro ztužení platí Tabulka 4-1, určující, který případ vybočení (Tabulka 4-2) bude použit, na základě vybočení k jedné z os. Volí se případ 1-5, odvíjející se od štíhlosti prutu, excentricity zatížení, spojitosti prutu (2 konce znamenají, že prut pokračuje na obou koncích spojitě a 0 konec odpovídá nepokračujícímu prvku na obou koncích), a počtu šroubů na nepokračujícím konci prutu, kde 2 šrouby odpovídají svařenému konci prutu.

Tabulka 4-1: Volba případu vybočení [10]

Wybočení k ose	Podmínka pro poměrnou štíhlost	Podmínka excentricity zatížení	spojitosti prvku	Počet šroubů na nepokračujícím konci	Případ
VV	$\bar{\lambda} \leq \sqrt{2}$	1 konec	-	-	2
		2 konec	-	-	3
	$\bar{\lambda} > \sqrt{2}$	-	2 konec	-	3
		-	1 konec	2 šrouby	3
		-	1 konec	1 šroub	1
		-	0 konec	2 šrouby	3
		-	0 konec	1 šroub	1
YY nebo ZZ	$\bar{\lambda} \leq \sqrt{2}$	1 konec	-	-	3
		2 konec	-	-	4
	$\bar{\lambda} > \sqrt{2}$	-	2 konec	-	1
		-	1 konec	2 šrouby	3
		-	1 konec	1 šroub	1
		-	0 konec	2 šrouby	4
		-	0 konec	1 šroub	5

Tabulka 4-2: Případy vybočení [10]

Případ	Lineární transformace
1	$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = \bar{\lambda}$
2	$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = 0,25 + 0,82 \cdot \bar{\lambda}$
3	$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = 0,5 + 0,65 \cdot \bar{\lambda}$
4	$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = 0,71 + 0,65 \cdot \bar{\lambda}$
5	$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = 0,4 + 0,86 \cdot \bar{\lambda}$

Práce obsahuje i posudek maximálního dovoleného napětí, které vznikne ve vodičích od jednotlivých zatěžovacích stavů.

4.2 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav použitelnosti se týká hlavně maximálního vodorovného posunu konstrukce. Největší dovolené vychýlení vrcholu konstrukce jsou 4% z výšky stožáru [7].

Mezní stav použitelnosti je nutno zohlednit i co se maximálního průhybu vodiče týče. Při vyšších teplotách se zvyšuje průhyb. V normě [5] jsou vypsány některé příklady minimálních vzdáleností vodičů od země (Tabulka 4-3).

Tabulka 4-3: Omezení vzdáleností vodičů od země [5]

Minimální vzdálenost vodičů od země [m]	Holé vodiče	Izolované vodiče a kabely
Běžný profil	5,6	5,6
Skalnatý nebo strmý svah	2,6	3
Pod vedením jsou stromy, na které lze vylézt	2,1	1,5
Vedení nad povrchem silnice	6,6	6,6

5. Posouzení vybraného stožáru

5.1 Základní údaje

Posuzovanou konstrukcí je stožár VN 180/94, který je součástí elektrického vedení z Třebovic do Mariánských hor.



Obrázek 5-1: Schéma trasy elektrického vedení, šipka ukazuje na umístění řešeného stožáru

Jedná se o koncový stožár typu “soudek“. Rozpětí je tedy pouze na jednu stranu, a to 205,5 m. Výška stožáru je 21,1 m. Oproti nosným stožárům je koncový stožár po stranách vyztužený do kříže umístěnými prvky. Na stožáru se nachází zemní lano Fe, fázové vodiče AlFe 6, tři na každé straně stožáru a optické lano F-1200.

Tabulka 5-1: Parametry použitých vodičů

Ozn.	Průměr d [mm]	Vypočtený průřez [mm ²]	Jmenovitá měrná hmotnost g [kg/km]	Maximální dovolené napětí σ_{dmax} [MPa]	Modul pružnosti E [MPa]	Koeficient teplotní roztlačnosti α [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
AlFe	16,96	168,10	597,80	110,52	75079,00	18,77
Fe	8,00	50,27	210,00	280,00	210000,00	12,00
F-1200	18,42	266,48	243,00	114,73	75079,00	18,77



Obrázek 5-2: Řešený koncový stožár v Mariánských horách

Prvky stožáru jsou navrženy z rovnoramenných úhelníků. Nárožníky mají řešeny spoje jako šroubové příložkové. Přípoje výplňových prutů k nárožníkům a spoje prvků konzol jsou navrženy jako šroubové se dvěma šrouby (první diagonály). Ostatní příčky tvořící příhradovou konstrukci jsou k nárožníkům uchyceny svarovým spojem.

Nárožníky příhradového stožáru jsou založeny na společné betonové patce.

Třída spolehlivosti konstrukce byla stanovena na úroveň 1 (Tabulka 3-1).

5.2 Prohlídka konstrukce

Na řešeném stožáru byl zjištěn vysoký průběh korozní degradace, a to hlavně v místě kotvení, kde nebylo důkladně provedeno vyspádování betonu v části uložení nárožníků.

V koutech úhelníků se zadržovala vlhkost a nečistoty (Obrázek 5-3). Oslabení nárožníků bylo změřeno a stanoveno na 33 % jmenovité tloušťky.



Obrázek 5-3: Zadržování nečistot v koutech úhelníků [4]

Výrazné korozní oslabení bylo zjištěno i na prvcích příhradového ztužení. V místě kotvení bylo určeno oslabení prvku o 59 % jmenovité tloušťky.

Ve šroubových styčnicích byla zjištěna spárová koroze, která způsobila vyhnutí příložek zejména v horní části styčnicku.

Tabulka 5-2: Stav profilů oslabených korozí

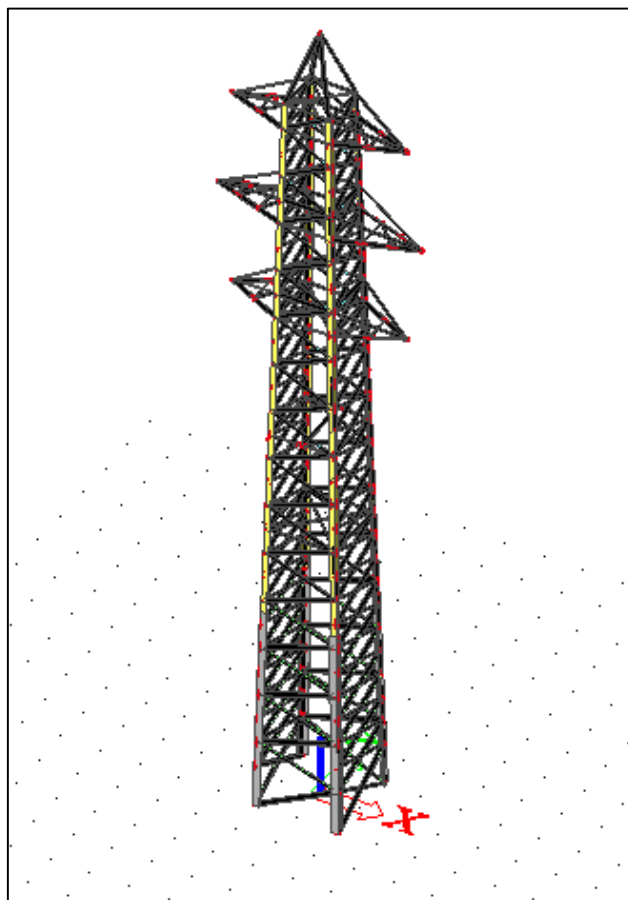
Největší naměřené oslabení prvků			
Prvek	Profil	Zbytková tloušťka [mm]	Úbytek tloušťky v [%]
Nárožník- plocha	L 180x15	14,5	3
Nárožník- kotvení	L 180x15	10,4	31
Příčka- plocha	L 80x7	5,9	16
Příčka- kotvení	L 80x7	2,9	59

Statický model

Geometrie stožáru byla v technické dokumentaci dána pouze výškou konstrukce, výškami umístění jednotlivých vodičů, rozpětím konstrukce v patě a v místě nejnižší konzoly a byly uvedeny jednotlivé použité profily. Zbylé geometrické údaje byly určeny při osobní prohlídce konstrukce.

V patě konstrukce byly změřeny jednotlivé osové vzdálenosti příček a z fotografické dokumentace odhadnuty vzdálenosti dalších dílčích prvků.

Statický model stožáru byl vytvořen v programu Scia Engineer 15.2 jako prostorová konstrukce. Styčníky jsou modelovány jako tuhé a podpory stožáru jsou vetknuté. Geometrie odpovídá Obrázek 5-4.



Obrázek 5-4: Statický model koncového stožáru v programu Scia Engineer 15.2.

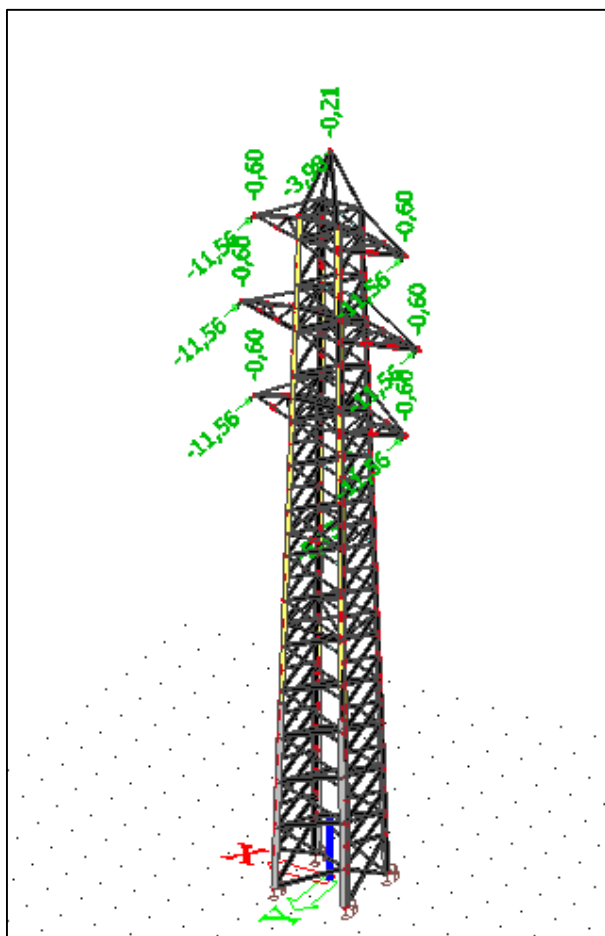
5.3 Zatížení

5.3.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce je generována automaticky, statickým softwarem.

5.3.2 Stálé zatížení způsobené vodiči

Zatížení způsobené vodiči bylo odvozeno z rovnice pro souměrnou řetězovku v kapitole 2.2.



Obrázek 5-5: Stálé zatížení způsobené vodiči při -5°C

Bude uvedeno odvození pro fázové vodiče při teplotě 10°C, pro ostatní vodiče jsou hodnoty uvedeny v Příloze 1, spočítané dle kapitoly 2.3 pro hledané teploty.

Vstupní údaje odečtené z dokumentace a stanovené experimentálně.

a= 205,50 m Délka rozpětí

$x_A=x_B$	102,75	m	Místo maximálního průhybu
f_m	3,10	m	Maximální průvěs řetězovky

Parametry zemního lana, stanovené z [2].

d	8,00	mm	Průměr vodiče
S	50,00	mm ²	Průřez lana
g_l	0,21	kg/m	Jmenovitá měrná hmotnost
q_l	2,06	N/m	Zatížení od tíhy vodiče

Pro vypočtení dalších parametrů je nutné vyjádřit parametr řetězovky, odvozením z kapitoly 2.2.2 a dosazením do prvních dvou členů Taylorova rozvoje dostaneme rovnici:

$$c = \frac{a^2}{8 \cdot f_m} = \frac{205,5^2}{8 \cdot 3,1} = 1702,83 \text{ m.}$$

Horizontální síla způsobená tahy vodiče je potom:

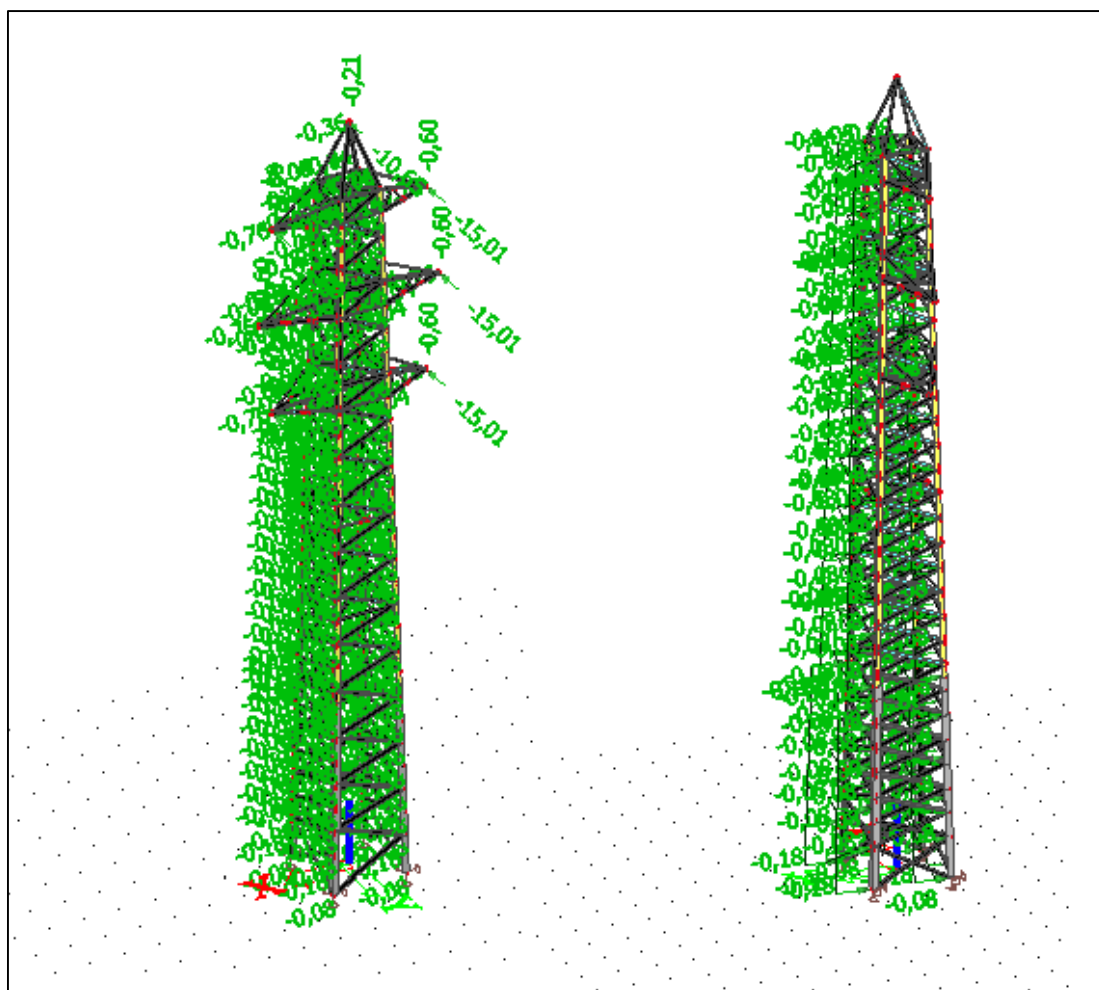
$$F_H = c \cdot q_l = 1702,83 \cdot 2,06 = 3504,43 \text{ N} = 3,504 \text{ kN},$$

a vertikální síla způsobená vlastní tíhou vodiče je:

$$F_V = a \cdot q \cdot \sinh \frac{x}{a} = 205,5 \cdot 2,06 \cdot \sinh \left(\frac{102,75}{205,5} \right) = 211,58 \text{ N} = 0,212 \text{ kN}.$$

5.3.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo stanoveno dle kapitoly 3.2.1.



Obrázek 5-6: Levý stožár: zatížení větrem kolmo na vodiče, pravý stožár: zatížení větrem kolmo na konzolu

Základní údaje:

Stožár VN se nachází v Ostravě Třebovicích, pro dané umístění byla vyčtena z Obrázek 3-1 větrná oblast. Konstrukce se nachází na okraji městské části Mariánské hory. Je možné říct, že se jedná o předměstskou oblast a z této znalosti stanovit kategorii terénu z Tabulka 3-3.

h	21,1	m	Výška stožáru.
oblast II			Oblast podle ČSN EN 1991-1-4 [6].
$v_{b,0} =$	25,00	m/s^2	Fundamentální hodnota základní rychlost větru.
$c_{dir} =$	1,00		Součinitel směru větru.
$c_{season} =$	1,00		Součinitel ročního období.
$v_b =$	25,00	m/s^2	Základní rychlost větru.

$\rho =$	1,23	kg/m ³	Hustota vzduchu.
$H =$	12,66	m	Referenční výška.
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Terén III</div>			Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami a izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je max. 20násobek jejich výšky (vesnice, předměstí, les).
$z_0 =$	0,30	m	Parametr drsnosti terénu.
$k_r =$	0,21		Součinitel terénu.
$c_0 =$	1,00		Součinitel orografie.
$V_h(h) =$	20,02	m/s	Střední rychlost větru v referenční výšce.
$q_h(h) =$	245,54	N/m ²	Střední tlak větru v referenční výšce.
$I_v(h) =$	0,27		Intenzita turbulence v referenční výšce.
$q_p(h) =$	704,80	N/m ²	Maximální tlak větru v referenční výšce.

5.3.3.1 Zatížení větrem na vodiče

Při výpočtu zatížení bylo postupováno podle kapitoly 3.2.1.1. Jedná se o stožár přímý a tak úhel mezi směrem větru a osou konzoly je nulový. Stav, kdy je směr větru kolmý na osu konzoly nevyvodí žádné přidavné síly na vodiče.

Referenční výška vodičů byla stanovena metodou 5, dle Tabulka 3-4.

$d_1 =$	0,01842	m	Průměr optického lana -1x
$d_2, d_3, d_4 =$	0,01698	m	Průměr fázového vodiče -3x
$d_5 =$	0,008	m	Průměr zemního lana -1x
$h_1 =$	10,20	m	Výška umístění optického lana
$h_2 =$	13,45	m	Výška umístění 1. fázového vodiče
$h_3 =$	16,05	m	Výška umístění 2. fázového vodiče
$h_4 =$	18,65	m	Výška umístění 3. fázového vodiče
$h_5 =$	21,10	m	Výška umístění zemního lana

$$H = \frac{\sum_{i \geq 1} (n_i \cdot d_i \cdot h_i)}{\sum_{i \geq 1} (n_i \cdot d_i)} = \frac{0,01842 \cdot 10,2 + 3 \cdot 0,01698 \cdot (13,45 + 16,05 + 18,65) + 0,008 \cdot 21,1}{0,01842 + 3 \cdot 0,01698 + 0,008}$$

$$H = 15,52 \text{ m}$$

Výpočet síly od působení větru na vodiče:

$V_h(h) =$	21,11	m/s	Střední rychlost větru v referenční výšce
$q_h(h) =$	240,68	N/m ²	Střední tlak větru v referenční výšce
$I_v(h) =$	0,25		Intenzita turbulence v referenční výšce
$q_p(h) =$	667,63	N/m ²	Maximální tlak větru v referenční výšce
$k_p =$	3,00		Součinitel maximální hodnoty

Střední hodnota délek obou rozpětí se pro koncový stožár vyjádří rovnicí:

$$L_m = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{205,5 + 0}{2} = 102,75 \text{ m.}$$

$L(h) =$	63,12	m	Měřítka délky turbulence v referenční výšce
$B^2 =$	0,29		Součinitel odezvy pozadí- nedostatek plné korelace tlaku
$R^2 =$	0,00		Součinitel rezonanční části odezvy
$G_c =$	0,66		Součinitel konstrukce

$C_c =$	1,00	Součinitel aerodynamického odporu pro běžné vodiče
---------	------	--

$$Q_{W_{c_v}} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \cos^2 \phi \cdot L_m$$

Výsledná síla pro zemnicí lano:

$$Q_1 = 667,63 \cdot 0,66 \cdot 1,00 \cdot 0,008 \cdot \cos^2(0) \cdot 102,75 = 0,36 \text{ kN.}$$

Výsledná síla pro fázové vodiče:

$$Q_2 = 667,63 \cdot 0,66 \cdot 1,00 \cdot 0,01698 \cdot \cos^2(0) \cdot 102,75 = 0,76 \text{ kN.}$$

Výsledná síla pro optické lano:

$$Q_3 = 667,63 \cdot 0,66 \cdot 1,00 \cdot 0,01842 \cdot \cos^2(0) \cdot 102,75 = 0,83 \text{ kN.}$$

5.3.3.2 Zatížení větrem na prvky příhradového stožáru

Zatížení je počítáno v souladu s kapitolou 3.2.1.2 metodou 2.

$h_t =$	12,66	m	Referenční výška
$H_t =$	21,10	m	Výška stožáru
$L(h) =$	55,75	m	Měřítka délky turbulence v referenční výšce
$B^2 =$	0,64		Součinitel odezvy pozadí- nedostatek plné korelace tlaku
$G_m =$	1		Součinitel konstrukce pro každý prvek stožáru
$C_m =$	1,6		Součinitel aerodynamického odporu pro úhelníky

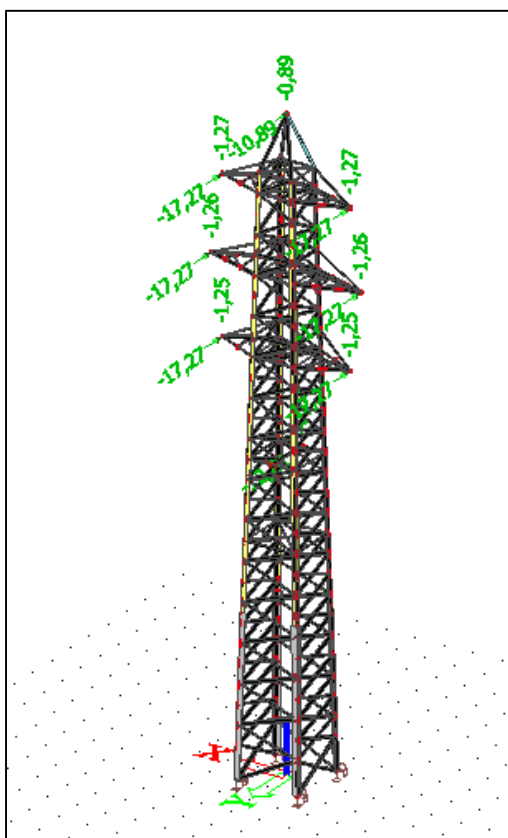
Pro úhelník L180/15 o šířce prvku 180 mm:

$$Q_{W_m} = q_p(h) \cdot G_m \cdot C_m \cdot A_m \cdot \cos^2 \phi_m = 621,38 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,18 \cdot \cos^2(0) = 0,18 \text{ kN/m.}$$

Výsledná zatížení větrem na prvky konstrukce jsou uvedeny v jednotlivých kombinacích v příloze 1.

5.3.4 Zatížení námrazou

Postup výpočtu vychází z kapitoly 3.2.2.



Obrázek 5-7: Zatížení námrazou

Námrazová oblast byla určena z Obrázek 3-3 , pro Ostravu, jako N1. Příspěvek váhového rozpětí vodiče bude vyjádřen ze skutečné délky omrzlého vodiče l_s . Skutečná délka je odvozena z rovnice tížné řetězovky (2.12).

Zatížení bude spočítáno pouze pro zemní lano, ostatní vodiče budou uvedeny v příloze 2.

$$l_s = 2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a}{2 \cdot c} = 2 \cdot 5289,29 \cdot \sinh \frac{205,5}{5289,29} = 205,513 \text{ m}$$

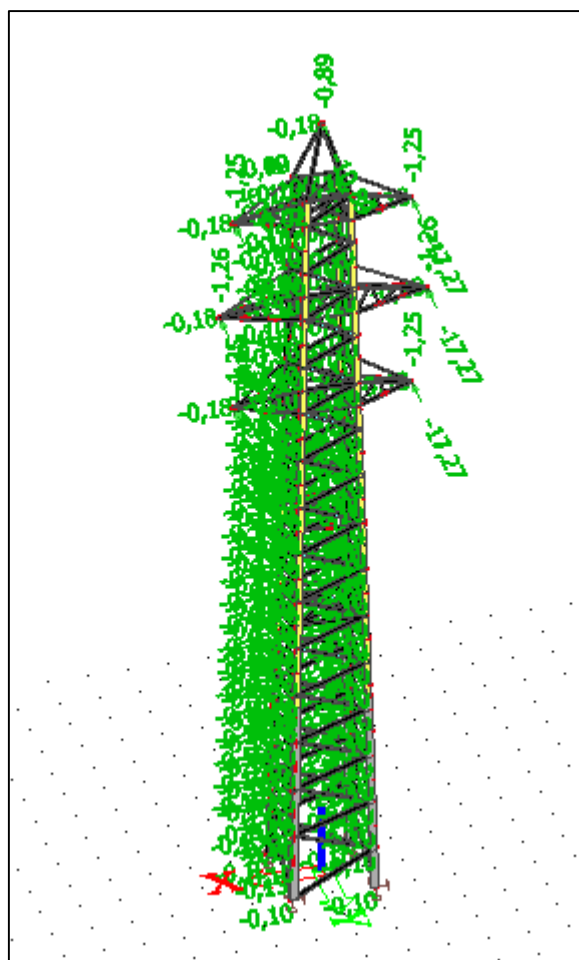
d=	8	mm	Průměr lana
h=	21,10	m	Výška závěsu
N1			Mapa námrazových oblastí ČR
I _R =	6,03	N/m	3,873+0,2698*d
K _h =	1,10		Součinitel výšky

$I_k =$	6,65	N/m	Charakteristické zatížení námrazou
	1		Úroveň spolehlivosti
$\gamma_I =$	1		Dílčí součinitel zatížení námrazou
$I_d =$	6,65	N/m	Návrhové zatížení námrazou
$L =$	205,51	m	Skutečná délka omrzlého vodiče
$L_{w1} =$	102,76	m	Příspěvek váhového rozpětí

Svislé zatížení způsobené přitížením námrazou:

$$Q_I = I \cdot (L_{w1} + L_{w2}) = 6,65 \cdot (102,76 + 0) = 0,68 \text{ kN.}$$

5.3.5 Kombinace zatížení větrem a námrazou



Obrázek 5-8: Zatížení větrem a námrazou

Pro kombinaci zatížení větrem a námrazou je v této práci uvažována pouze první kombinace- extrémní zatížení námrazou I_T kombinované s rychlostí větru s vysokou pravděpodobností V_{IH} (kapitola 3.2.4).

Součinitel kombinace pro vítr působící na omrzlé vodiče je $\psi_{wc} = 0,25$ a pro vítr působící na prvky stožáru $\psi_w = 0,5$ [7].

Zatížení větrem na omrzlé vodiče:

Výpočet bude uveden pro zemnicí lano. Hodnoty zatížení od ostatních vodičů budou uvedeny v Tabulce...

d=	0,008	m	Průměr vodiče
Mokrý sníh			Typ námrazy
$\rho=$	500,00	kg/m ³	Hustota námrazy
$C_{ic}=$	1,00		Součinitel aerodynamického odporu
$\Psi_{wc}=$	0,25		Součinitel kombinace pro zatížení větrem na vodiče
$q_{hcl}=$	54,12	N/m ²	Dynamický tlak větru
$D_f=$	0,04	m	Ekvivalentní průměr vodiče s námrazou
$\gamma_1=$	1,00		Dílčí součinitel zatížení námrazou
$G_q=$	1,15		Poryvový součinitel
$I_d=$	6,65	N/m	Návrhové zatížení námrazou
$L_1=$	205,50	m	Vzdálenost jednoho rozpětí

Výsledná vodorovná síla ve směru osy konzoly, kde $\phi = 0$ je:

$$Q_{Wcl} = q_{hcl} \cdot G_q \cdot C_c \cdot D \cdot \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot \cos^2 \phi = 54,12 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 0,04 \cdot \frac{205,5 + 0}{2}$$

$$Q_{Wcl} = 0,18 \text{ kN.}$$

Zatížení větrem na prvky stožáru:

Prvky stožáru jsou zatížené větrem podle kapitoly 5.3.3.2, ponížené součinitelem kombinace ψ_w .

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v jednotlivých kombinacích v příloze 1.

5.4 Kombinace zatížení

Pro přehlednost jsou uvedeny jednotlivé kombinace a zatížení do nich vstupující v příloze 1.

5.5 Vnitřní síly

Model prostorové příhradové konstrukce byl vytvořen v programu Scia Engineer 15.2. Byly zadány jednotlivé zatěžovací stavy (Tabulka 3-8.), vytvořeny kombinace, uvedené v příloze 1, a vypočítány vnitřní síly metodou konečný prvků.

Tabulka 5-3: Maximální vnitřní síly na jednotlivých prvcích

VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ SÍLY	N_{Ed}^+ [kN]	N_{Ed}^- [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
NÁROŽNÍKY						
úhelník L 180/15	498,55	526,69	10,58	8,66	7,18	6,84
kombinace	CO7	CO7	CO9	CO9	CO8	CO9
úhelník L 140/12	383,23	404,21	3,66	6,18	2,62	1,56
kombinace	CO7	CO7	CO7	CO7	CO8	CO4
DIAGONÁLY						
úhelník L 80/7	44,38	44,56	0,24	0,65	0,33	0,11
kombinace	CO8	CO9	CO7	CO9	CO9	CO9
úhelník L 70/7	45,31	45,49	0,26	0,88	0,7	0,19
kombinace	CO6	CO6	CO6	CO6	CO4	CO7
ZAVĚTROVÁNÍ						
úhelník L 45/4	10,11	12,04	2,54	2,47	0,14	0,06
kombinace	CO7	CO7	CO6	CO6	CO6	CO6

5.6 Zatížení od vodičů

Postup stanovení zatížení od vodičů je odvozen v kapitolách 2.3 a 2.4.

V práci bude uveden postup pro výpočet vybraných zatěžovacích stavů zemního lana.

Ostatní hodnoty jsou uvedeny v příloze 2.

Materiálové konstanty zemního lana:

$\alpha =$	1,20E-05	°C ⁻¹	Koeficient teplotní roztažnosti
$q_1 =$	2,058	N/m	Zatížení od tíhy vodiče
$\gamma =$	4,09E-02	N/m ³	Měrná tíha lana
$E =$	2,10E+05	Mpa	Modul pružnosti
$\sigma_{dov} =$	110,00	MPa	Maximální dovolené mechanické

Hodnoty stanovené tížnou řetězovkou odpovídají teplotě 10°C.

$\vartheta_0 =$	10	°C	Teplota ve stavu 0
$\sigma_{H0} =$	69,718	MPa	Mechanické napětí ve stavu 0
$z_0 =$	1		Přetížení vodiče ve stavu 0

Výpočet pro minimální teplotu -36°C:

Pro výpočet napětí je zvolen iterační postup vycházející ze stavové rovnice.

$$A = \frac{(\gamma)^2 \cdot E}{24} = \frac{(0,049)^2 \cdot 210000}{24} = 14,67$$

$$B = \alpha \cdot E = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 210000 = 2,52$$

Potom je stavová rovnice (2.24) ve tvaru:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[14,67 \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{69,718} \right)^2 + 2,52 \cdot (-36 - 10) - 69,718 \right] = 14,67 \cdot (1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1)^2$$

$$\sigma_{H1}^2 \cdot [\sigma_{H1} - 58,204] = 6,19 \cdot 10^5$$

Provede se iterační výpočet s přesností 10⁻² a výsledkem je:

$\sigma_{H1} =$	109,69	MPa	Napětí ve stavu 1.
-----------------	--------	-----	--------------------

Z napětí můžeme odvodit další hledané hodnoty.

Horizontální složka tahové síly:

$$F_H = \sigma_{H1} \cdot S = 109,69 \cdot 50$$

$$F_H = 5513 \text{ N} = 5,513 \text{ kN}$$

Maximální průhyb vodiče při teplotě -36°C:

$$f_m = \frac{a^2}{8 \cdot c} = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma_{H1}} = \frac{205,5 \cdot 0,049}{8 \cdot 109,69}$$

$$f_m = 1,97 \text{ m}$$

Výpočet pro teplotu -5°C a působení větru:

Pomocné výpočty A (2.25) a B (2.26) se pro stejné zemnicí lano nezmění. Působení větru bude ve výpočtu zohledněno přitížením ve stavu 1.

Zatížení větru na vodič zohledníme úpravou rovnice (3.8):

$$q_{wc_v} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \cos^2 \phi = 667,63 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 0,01842 \cdot 1 = 8,07 \text{ N/m}$$

$$z_1 = \frac{\sqrt{q_1^2 + q_{wc}^2}}{q_1} = \frac{\sqrt{2,058^2 + 8,07^2}}{2,058} = 4,05$$

Stavová rovnice (2.24) je potom ve tvaru:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[14,67 \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{69,718} \right)^2 + 2,52 \cdot (-5 - 10) - 69,718 \right] = 14,67 \cdot (1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 4,05)^2$$

$$\sigma_{H1}^2 \cdot [\sigma_{H1} + 19,916] = 1,01 \cdot 10^{-7}$$

Provede se iterační výpočet s přesností 10^{-2} a výsledkem je:

$$\sigma_{H1} = 210,03 \text{ MPa} \quad \text{Napětí ve stavu 1}$$

Z napětí můžeme odvodit další hledané hodnoty:

Horizontální složka tahové síly:

$$F_H = \sigma_{H1} \cdot S = 210,03 \cdot 50$$

$$F_H = 10557,37 \text{ N} = 10,57 \text{ kN}$$

Maximální průhyb vodiče při teplotě -5°C a působení větru:

$$f_m = \frac{a^2}{8 \cdot c} = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma_{H1}} = \frac{205,5 \cdot 0,049}{8 \cdot 210,03}$$

$$f_m = 1,03 \text{ m}$$

Výpočet pro teplotu -5°C a působení mrazu:

Pomocné výpočty A (2.25) a B (2.26) se pro stejné zemnicí lano nezmění. Působení mrazu bude ve výpočtu zohledněno přitížením ve stavu 1.

Pro výpočet přitížení od mrazu je dosazena hodnota z kapitoly 5.3.4, návrhové zatížení námrazou I_d .

$$I_d = 6,65 \text{ N/m}$$

$$z_1 = \frac{I_d + q_1}{q_1} = \frac{6,65 + 2,058}{2,058} = 4,23$$

Stavová rovnice (2.24) je potom ve tvaru:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[14,67 \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{69,718} \right)^2 + 2,52 \cdot (-5 - 10) - 69,718 \right] = 14,67 \cdot (1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 4,23)^2$$

$$\sigma_{H1}^2 \cdot [\sigma_{H1} + 19,916] = 1,11 \cdot 10^{-7}$$

Provede se iterační výpočet s přesností 10^{-2} a výsledkem je:

$$\sigma_{H1} = 216,56 \text{ Mpa} \quad \text{Napětí ve stavu 1}$$

Z napětí můžeme odvodit další hledané hodnoty:

Horizontální složka tahové síly:

$$F_H = \sigma_{H1} \cdot S = 216,56 \cdot 50$$

$$F_H = 10885,362 \text{ N} = 10,885 \text{ kN}$$

Maximální průhyb vodiče při teplotě -5°C a působení větru:

$$f_m = \frac{a^2}{8 \cdot c} = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma_{H1}} = \frac{205,5^2 \cdot 0,049}{8 \cdot 216,56}$$

$$f_m = 0,998 \text{ m}$$

Vertikální složka tahových sil se nemění. Závisí na parametrech lana.

5.7 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Vychýlení stožáru:

Největší posun uzlu byl vypočítán ve vrcholu stožáru, ve směru osy y. Velikost posunu je 91,7 mm. Je způsoben kombinací působení maximální námrazy a větrem s vysokou pravděpodobností.

Maximální dovolené vychýlení je dané 4% z výšky stožáru.

$$\frac{u_{\max} = 844,0 \text{ mm} \geq u_y = 91,7 \text{ mm}}{\text{VYHOVUJE}}$$

Průhyb vodiče:

Na maximální průhyb bude posouzen nejnižše umístěný optický vodič. Dovolený průhyb je 5,6 m pro běžný profil [5].

Při 38°C má napětí ve vodiči velikost $\sigma_H = 11,399 \text{ MPa}$. Maximální průhyb se spočte následovně:

$$f_m = \frac{a^2}{8 \cdot c} = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma_{H1}} = \frac{205,5^2 \cdot 0,089}{8 \cdot 11,399}$$

$$f_m = 4,14 \text{ m}$$

Výška závěsu optického kabelu je 10,2 m. Maximální průhyb se nachází v polovině rozpětí, kde terén klesne o 2,5 m a vzdušnou čarou k dalšímu závěsu je výška 12,7 m. Potom při 38°C bude vzdálenost vodiče od země 8,56 m. Vodič vyhoví na mezní stav použitelnosti.

5.8 Posouzení mezního stavu únosnosti

Mezní stav únosnosti bude posouzen na každém prvku konstrukce. Nárožníky budou posouzeny na vzpěrný tlak dle [5], tah, ohyb, smyk a tlak s ohybem dle [10]. Ztužující prvky příhradové konstrukce se posoudí na vzpěrný tah a na tlak. Velikosti momentů a posouvajících sil jsou zanedbatelné.

$\gamma_{M0} =$	1,00	Bezpečnostní součinitel pro průřezy všech tříd
$\gamma_{M1} =$	1,00	Bezpečnostní součinitel pro posudek stability prutů
$\gamma_{M2} =$	1,25	Bezpečnostní součinitel pro posudek oslabených průřezů v tahu

5.8.1 Nárožník L 180/15

Materiálové charakteristiky:

Třída oceli: S235

$f_y =$	235,00	MPa	Mez kluzu oceli
$f_u =$	360,00	MPa	Mez pevnosti oceli
$G =$	81000	MPa	Modul pružnosti oceli ve smyku
$E =$	210000	MPa	Modul pružnosti oceli

Průřezové charakteristiky:

$A =$	5210,00	mm ²	Plocha průřezu
$i_y =$	55,20	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y
$i_v =$	35,30	mm	Poloměr setrvačnosti k ose v
$h =$	180,00	mm	Výška profilu
$t =$	15,00	mm	Tloušťka profilu
$L =$	1300,00	mm	Délka prvku
$W_{el,y} = W_{el,z} =$	1,22E+05	mm ³	Pružný modul průřezu k ose y a z
$I_y = I_z =$	1,59E+07	mm ⁴	Moment setrvačnosti k ose y a z
$I_w =$	0	mm ⁶	Výsečový moment setrvačnosti
$I_t =$	388120	mm ⁴	Moment tuhosti v prostém kroucení

Zatížení průřezu:

Poměrné přetvoření ε :

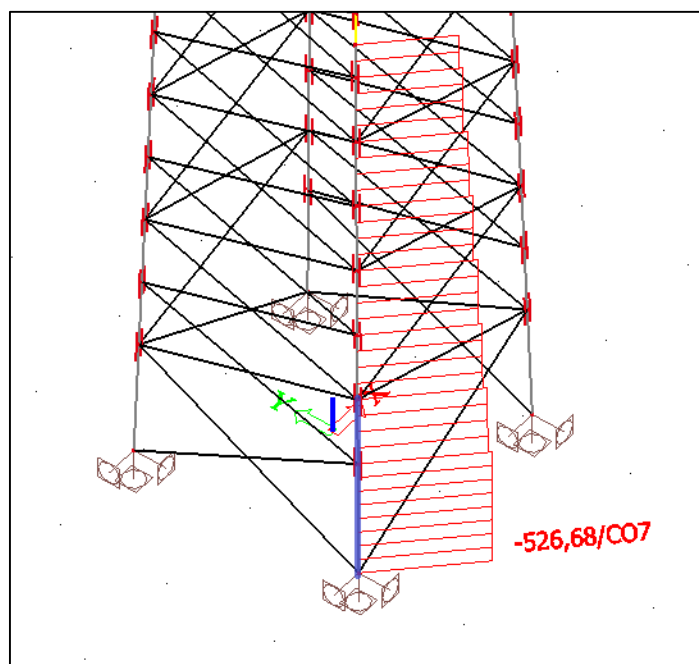
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$h/t = 12,00 \leq 15 \cdot \varepsilon = 15 \rightarrow \text{Průřez třídy 3}$$

VZPĚRNÝ TLAK:

$$N_{Ed} = - 526,69 \text{ kN}$$



Obrázek 5-9: Normálová, tlaková síla v nárožníku

$$\alpha = 0,13$$

Součinitel imperfekce podle [5], křivka vzpěrnosti a_0

Vzpěrné délky:

Pro nárožník bude rozhodující vzpěr k rovině y-y viz. Obrázek 5-99, modré zvýraznění.

$$L_{yy} = 1300 \text{ mm}$$

Vybočení k ose y-y:

Štíhlost:

$$\lambda_y = 1,2 \cdot \frac{L_y}{i_y} = 1,2 \cdot \frac{1300}{55,2}$$

$$\lambda_y = 28,26 \leq 120$$

Splněna podmínka maximální štíhlosti nárožníku

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{\lambda_y}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{28,26}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_{eff,y} = 0,3$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{eff,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_{eff,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (0,3 - 0,2) + 0,3^2]$$

$$\phi_y = 0,545$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_{eff,y}^2}} = \frac{1}{1,621 + \sqrt{1,621^2 - 0,3^2}}$$

$$\chi_y = 1,00$$

Posudek na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 5210 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 1224,35 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{b,Rd} = 1224,350 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 526,69 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 43 %

TAH:

$$N_{Ed} = 498,55 \text{ kN}$$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5210 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{Rd} = 1224,35 \text{ kN}$$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$$N_{Rd} = 1224,35 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 498,55 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 41 %

Posudek oslabeného průřezu na tah:

$n = 2$ ks Počet šroubů v průřezu

$d_0 = 26$ mm Průměr otvoru

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 5210 - 2 \cdot 26 \cdot 15$$

$$A_{net} = 4430 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{4430 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{u,Rd} = 1148,26 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{u,Rd} = 1148,26 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 498,55 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 43 %

SMYK:

$$V_{Ed} = 10,58 \text{ kN}$$

Posudek na smyk:

$$V_{Ed} = \frac{\frac{A}{2} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{5210}{2} \cdot \frac{235}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$V_{Ed} = 353,44 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$V_{c,Rd} = 353,44 \text{ kN} \geq 2 \cdot V_{Ed} = 21,16 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 6 %

OHYB:

$$M_{Ed} = 7,18 \text{ kN}$$

Posudek na ohyb:

$$M_{C,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$M_{C,Rd} = 28,67 \text{ kNm}$$

POSUDEK:

$$M_{C,Rd} = 28,67 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 7,18$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito} \quad 25 \quad \%$$

OHYB A OSOVÁ ÚNOSNOST:

Tabulka 5-4: Normálové síly a příslušné ohybové momenty

	$N_{ed} \text{ [kN]}$	$M_{prisl,y} \text{ [kNm]}$	$M_{prisl,z} \text{ [kNm]}$
TAH	498,55	3,30	1,23
TLAK	526,69	3,18	1,19

Posudek na prostý tlak:

$$\frac{N_{Ed}^-}{A \cdot f_{yk}} + \frac{M_{prisl,y}}{W_{el,y} \cdot f_y} + \frac{M_{prisl,z}}{W_{el,z} \cdot f_y} \leq 1$$

$$\frac{526,69 \cdot 10^3}{5210 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{3,18 \cdot 10^3}{1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{1,19 \cdot 10^3}{1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6} \leq 1$$

POSUDEK:

$$0,58 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na prostý tah:

$$\frac{N_{Ed}^+}{\frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M2}}} + \frac{M_{prisl,y}}{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{prisl,z}}{\frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1$$

$$\frac{498,55 \cdot 10^3}{\frac{0,9 \cdot 4430 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,25}} + \frac{3,3 \cdot 10^3}{\frac{1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1}} + \frac{1,23 \cdot 10^3}{\frac{1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1}} \leq 1$$

POSUDEK:

$$0,51 \leq 1$$

VYHOVUJE

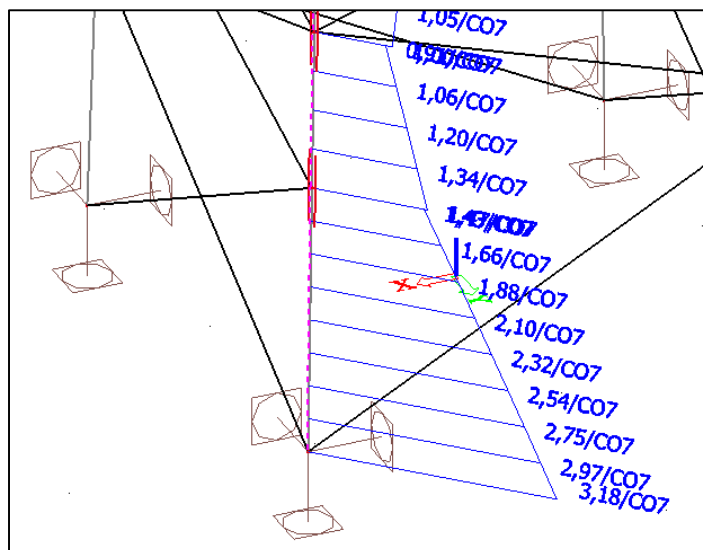
Posudek na stabilitní únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{prisl,y}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{prisl,z}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{prisl,y}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{prisl,z}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$k_z = 0,5$ Okrajové podmínky v ohybu- vetknuté konce

$k_w = 1$ Okrajové podmínky v kroucení



Obrázek 5-10: Průběh příslušného ohybového momentu

Bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 1300} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 0}{81000 \cdot 388120}}$$

$$k_{wt} = 0$$

Poměr koncových momentů (Obrázek 5-1010):

$$\psi = \frac{0,91}{3,3} = 0,286$$

Součinitelé závislé na podmínkách uložení a zatížení:

$$C_{1,0} = 1,49$$

$$C_{1,1} = 1,69$$

$$C_1 = C_{1,0} = 1,49 \leq C_{1,1}$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,49}{0,5} \cdot \sqrt{1 + 0}$$

$$\mu_{cr} = 2,98$$

Pružný kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 2,98 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 10^3 \cdot 1,59 \cdot 10^{-5} \cdot 81000 \cdot 10^3 \cdot 388120 \cdot 10^{-12}}}{1,3}$$

$$M_{cr} = 2333,22 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost při klopení:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{2333,22}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,11$$

$$\alpha_{LT} = 0,76 \quad \text{Součinitel imperfekce podle [11], křivka klopení d}$$

Součinitel klopení:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,11 - 0,2) + 0,11^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,47$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,47 + \sqrt{0,47^2 - 0,11^2}}$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Součinitele ekvivalentního momentu:

$$C_{my}=C_{mz}=C_{mLT}= 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,71 \quad \geq \quad 0,4$$

VYHOVUJE

Interakční součinitel k_{yy} :

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_d^-}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,71 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,3 \cdot \frac{526,69}{\frac{1 \cdot 1224,35}{1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,77 \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_d^-}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,9$$

Interakční součinitel k_{yz} :

$$k_{yz} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_d^-}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,71 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,24 \cdot \frac{526,69}{\frac{1 \cdot 1224,35}{1}} \right)$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,76 \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_d^-}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,9$$

Interakční součinitel k_{zy} :

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_d^-}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = \left[1 - \frac{0,05 \cdot 0,24}{(0,71 - 0,25)} \cdot \frac{526,69}{\frac{1 \cdot 1224,35}{1}} \right] =$$

$$k_{zy} = 0,99 \geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_d^-}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,95$$

POSUDEK:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{prisl,y}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{prisl,z}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,55 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{prisl,y}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{prisl,z}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,57 \leq 1$$

VYHOVUJE

5.8.2 Nárožník L 140/12

V nárožnících převládají tahové a tlakové síly. Budou posouzeny na příslušné únosnosti.

Velikost smykových sil a ohybových momentů je zanedbatelná.

Průřezové charakteristiky:

A=	3240,00	mm ²	Plocha průřezu
i _y =	44,00	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y
i _v =	27,50	mm	Poloměr setrvačnosti k ose v
h=	140,00	mm	Výška profilu
t=	12,00	mm	Tloušťka profilu
L=	1300,00	mm	Délka prvku
W _{el,y} =W _{el,z} =	5,91E+05	mm ³	Pružný modul průřezu k ose y a z
I _y =I _z =	6,05E+06	mm ⁴	Moment setrvačnosti k ose y a z
I _w =	0	mm ⁶	Výsečový model setrvačnosti

Zatřetí průřezu:

Poměrné přetvoření ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$h/t = 11,67 \leq 15 \cdot \varepsilon = 15 \rightarrow \text{Průřez třídy 3}$$

VZPĚRNÝ TLAK:

$$N_{Ed} = - 404,21 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0,13 \quad \text{Součinitel imperfekce podle [5], křivka vzpěrnosti } a_0$$

Vzpěrné délky:

Pro nárožník bude rozhodující vzpěr k rovině y-y.

$$L_{yy} = 1300 \text{ mm}$$

Vybočení k ose y-y:

Štíhlost:

$$\lambda_y = 1,2 \cdot \frac{L_y}{i_y} = 1,2 \cdot \frac{1300}{44}$$

$$\lambda_y = 34,45 \leq 120$$

Splněna podmínka maximální štíhlosti nárožníku

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{\lambda_y}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{34,45}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_{eff,y} = 0,38$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{eff,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_{eff,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (0,38 - 0,2) + 0,38^2]$$

$$\phi_y = 0,571$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_{eff,y}^2}} = \frac{1}{0,571 + \sqrt{0,38^2 - 0,571^2}}$$

$$\chi_y = 1,00$$

Posudek na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 3240 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 761,4 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{b,Rd} = 761,4 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 404,21 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 53 %

TAH:

$$N_{Ed} = 383,23 \text{ kN}$$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3240 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{Rd} = 761,40 \text{ kN}$$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$$N_{Rd} = 761,40 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 383,23 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 50 %

Posudek oslabeného průřezu na tah:

$n = 2$ ks Počet šroubů v průřezu

$d_0 = 26$ mm Průměr otvoru

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 3420 - 2 \cdot 26 \cdot 12$$

$$A_{net} = 2616 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2616 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{u,Rd} = 678,07 \text{ kN}$$

POSUDEK:

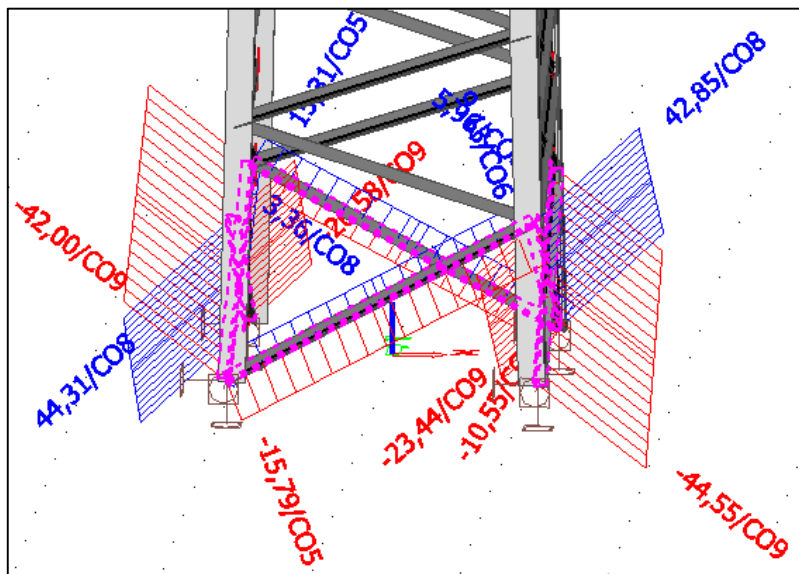
$$N_{u,Rd} = 678,07 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 383,23 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 57 %

5.8.3 Ztužení L 80/7

Největší tahové a tlakové síly vznikají v prvcích, které tvoří křížové ztužení. Podle normy [9] je v tomto případě možné pro vzpěrnou délku vzít polovinu délky prutu. Vnitřní síly v prvcích vystřídaného ztužení jsou minimálně dvakrát menší. Posudek prutů na vzpěr tedy určitě vyhoví.



Obrázek 5-11: Rozdílné vnitřní síly v prvcích křížového ztužení a v prvcích vystřídaného symetrického ztužení

Průřezové charakteristiky:

$A=$	1080,00	mm ²	Plocha průřezu
$i_y=$	24,40	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y
$i_v=$	15,60	mm	Poloměr setrvačnosti k ose v
$h=$	80,00	mm	Výška profilu
$t=$	7,00	mm	Tloušťka profilu
$W_{el,y}=W_{el,z}=$	1,11E+04	mm ³	Pružný modul průřezu k ose y a z
$I_y=I_z=$	6,42E+05	mm ⁴	Moment setrvačnosti k ose y a z
$I_w=$	0	mm ⁶	Výsečový model setrvačnosti

Zatřívání průřezu:

Poměrné přetvoření ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$h/t = 11,43 \leq 15 \cdot \varepsilon = 15 \rightarrow \text{Průřez třídy 3}$$

VZPĚRNÝ TLAK:

$$N_{Ed} = -44,56 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0,13 \quad \text{Součinitel imperfekce podle normy [5], křivka vzpěrnosti } a_0$$

Vzpěrné délky:

$$L_{yy} = 2346 / 2 = 1173 \text{ mm}$$

$$L_{vv} = 2346 / 2 = 1173 \text{ mm}$$

Štíhlost:

Vybočení k ose y-y:

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{1173}{24,4}$$

$$\lambda_y = 48,07 \leq 180$$

Vybočení k ose v-v:

$$\lambda_v = \frac{L_v}{i_v} = \frac{1173}{15,6}$$

$$\lambda_v = 75,19 \leq 180$$

Splněna podmínka maximální štíhlosti prvků ztužení. Rozhodující bude vzpěr k ose v-v.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{\lambda_v}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{75,19}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_v = 0,80 \leq \sqrt{2} = 1,41$$

Účinná štíhlost:

Účinná štíhlost se určí podle Tabulka 4-2.

$$\bar{\lambda}_{eff} = 0,5 + 0,65 \cdot \bar{\lambda}_v = 0,5 + 0,65 \cdot 0,8$$

$$\bar{\lambda}_{eff} = 1,02$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{eff} - 0,2) + \bar{\lambda}_{eff}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (1,02 - 0,2) + 1,02^2]$$

$$\phi_y = 1,074$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_{eff,y}^2}} = \frac{1}{1,074 + \sqrt{1,074^2 - 1,02^2}}$$

$$\chi_y = 0,71$$

Posudek na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,71 \cdot 1080 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 180,137 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{b,Rd} = 180,137 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 44,56 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito} \quad 25 \quad \%$$

TAH:

$$N_{Ed} = 44,38 \text{ kN}$$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1080 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{Rd} = 253,80 \text{ kN}$$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$$N_{Rd} = 253,80 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 44,38 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito} \quad 17 \quad \%$$

Posudek oslabeného průřezu na tah:

$n=$ 1 ks Počet šroubů v průřezu

$d_0=$ 20 mm Průměr otvoru

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 1080 - 1 \cdot 20 \cdot 7$$

$$A_{net} = 926 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{926 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{u,Rd} = 240,02 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{u,Rd} = 240,02 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 44,38 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 18 %

5.8.4 Ztužení L 70/7

Průřezové charakteristiky:

$A=$	940,00	mm ²	Plocha průřezu
$i_y=$	21,20	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y
$i_v=$	13,60	mm	Poloměr setrvačnosti k ose v
$h=$	70,00	mm	Výška profilu
$t=$	7,00	mm	Tloušťka profilu
$L=$	1920,00	mm	Délka prvku
$W_{el,y}=W_{el,z}=$	8,41E+03	mm ³	Pružný modul průřezu k ose y a z
$I_y=I_z=$	4,23E+05	mm ⁴	Moment setrvačnosti k ose y a z
$I_w=$	0	mm ⁶	Výsečový moment setrvačnosti

Zatřízení průřezu:

Poměrné přetvoření ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$h/t = 10,00 \leq 15 \cdot \varepsilon = 15 \rightarrow \text{Průřez třídy 3}$$

VZPĚRNÝ TLAK:

$$N_{Ed} = -45,49 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0,13 \quad \text{Součinitel imperfekce podle normy [5], křivka vzpěrnosti } a_0$$

Vzpěrné délky:

$$L_{yy} = 1920 / 2 = 960 \text{ mm}$$

$$L_{vv} = 1920 / 2 = 960 \text{ mm}$$

Štíhlost:

Vybočení k ose y-y:

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{960}{21,20}$$

$$\lambda_y = 45,28 \leq 180$$

Vybočení k ose v-v:

$$\lambda_v = \frac{L_v}{i_v} = \frac{920}{21,20}$$

$$\lambda_v = 70,59 \leq 180$$

Splněna podmínka maximální štíhlosti prvků ztužení. Rozhodující bude vzpěr k ose v-v.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{\lambda_v}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{70,59}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_v = 0,75 \leq \sqrt{2} = 1,41$$

Účinná štíhlost:

Účinná štíhlost se určí Tabulka 4-2.

$$\bar{\lambda}_{eff} = 0,5 + 0,65 \cdot \bar{\lambda}_v = 0,5 + 0,65 \cdot 0,75$$

$$\bar{\lambda}_{eff} = 0,99$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{eff} - 0,2) + \bar{\lambda}_{eff}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (0,99 - 0,2) + 0,99^2]$$

$$\phi_y = 1,040$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_{eff,y}^2}} = \frac{1}{1,04 + \sqrt{1,04^2 - 0,99^2}}$$

$$\chi_y = 0,734$$

Posudek na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,734 \cdot 940 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 162,113 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{b,Rd} = 162,113 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 45,49 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito } 28 \%$$

TAH:

$$N_{Ed} = 45,31 \text{ kN}$$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{940 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{Rd} = 220,90 \text{ kN}$$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$$N_{Rd} = 220,90 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 45,31 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito } 21 \%$$

5.8.5 Zavětrování L 45/4

Průřezové charakteristiky:

A=	349,00	mm ²	Plocha průřezu
i _y =	13,60	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y
i _v =	8,71	mm	Poloměr setrvačnosti k ose v
h=	45,00	mm	Výška profilu
t=	4,00	mm	Tloušťka profilu
L=	1186,00	mm	Délka prvku
W _{el,y} =W _{el,z} =	1,97E+03	mm ³	Pružný modul průřezu k ose y a z
I _y =I _z =	6,43E+04	mm ⁴	Moment setrvačnosti k ose y a z
I _w =	0	mm ⁶	Výsečový moment setrvačnosti

Zatřízení průřezu:

Poměrné přetvoření ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$h/t = 11,25 \leq 15 \cdot \varepsilon = 15 \rightarrow \text{Průřez třídy 3}$$

VZPĚRNÝ TLAK:

$$N_{Ed} = -12,04 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0,13 \quad \text{Součinitel imperfekce podle [5], křivka vzpěrnosti } a_0$$

Vzpěrné délky:

$$L_{yy} = 1186 \text{ mm}$$

$$L_{vv} = 1186 \text{ mm}$$

Štíhlost:

Vybočení k ose y-y:

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{1186}{13,6}$$

$$\lambda_y = 87,21 \leq 180$$

Vybočení k ose v-v:

$$\lambda_v = \frac{L_v}{i_v} = \frac{1186}{8,71}$$

$$\lambda_v = 136,17 \leq 180$$

Splněna podmínka maximální štíhlosti prvků ztužení. Rozhodující bude vzpěr k ose v-v.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{\lambda_v}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{136,17}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_v = 1,45 > \sqrt{2} = 1,41$$

Účinná štíhlost:

Účinná štíhlost se určí podle Tabulka 4-2.

$$\bar{\lambda}_{eff} = 0,5 + 0,65 \cdot \bar{\lambda}_v = 0,5 + 0,65 \cdot 1,45$$

$$\bar{\lambda}_{eff} = 1,44$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{eff} - 0,2) + \bar{\lambda}_{eff}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (1,44 - 0,2) + 1,44^2]$$

$$\phi_y = 1,621$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_{eff,y}^2}} = \frac{1}{1,621 + \sqrt{1,621^2 - 1,44^2}}$$

$$\chi_y = 0,424$$

Posudek na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,424 \cdot 349 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 34,734 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{b,Rd} = 34,734 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 12,04 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 35 %

TAH:

$N_{Ed} = 10,11 \text{ kN}$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{349 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$N_{Rd} = 82,02 \text{ kN}$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$N_{Rd} =$	82,02 kN	\geq	$N_{Ed} =$	10,11 kN
VYHOVUJE				
Využito	12 %			

Zhodnocení využití profilů při maximálním zatížení ze všech kombinací je provedeno v Tabulka 5-55.

Tabulka 5-5: Využití profilů v procentech

Profil	Využití profilů [%]					
	Tah	Tah oslabeného průřezu	Vzpěrný tlak	Smyk	Ohyb	Tlak s ohybem
úhelník L 180x15	41%	42%	43%	6%	25%	57%
úhelník L 140x12	50%	55%	53%	6%	2%	46%
úhelník L 80x7	17%	18%	25%	2%	13%	-
úhelník L 70x7	21%	-	28%	3%	35%	-
úhelník L 45x4	12%	-	35%	21%	30%	-

5.9 Posouzení vodičů

Posouzení únosnosti vodičů bude provedeno porovnáním mechanického napětí, které vznikne ve vodiči při různých kombinacích, s hodnotami doporučenými výrobcí.

Hodnoty jsou uvedeny v příloze 2.

Tabulka 5-6: Využití vodičů v procentech při různých zatěžovacích stavech

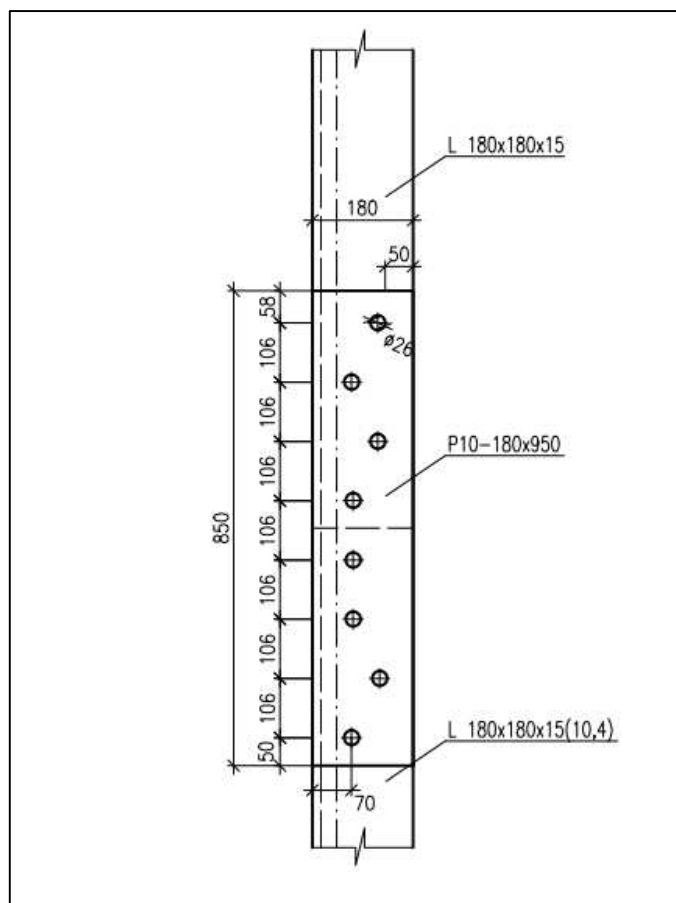
Vodič	Využití vodičů					
	-36	-5	+10	+38	-5*	-5**
Zemnicí lano	39%	28%	25%	21%	77%	75%
Fázové vodiče	87%	62%	54%	42%	93%	81%
Optické lano	36%	17%	13%	10%	42%	26%

* námraza

**vítr

5.10 Posouzení šroubového spoje nárožníku L 180/15- koroze

Posuzovaný profil je nárožník L 180/15. Na jednom z nárožníků byl zjištěn korozní úbytek až na tloušťku 10,4 mm, na kterou nárožník bude posuzován. Parametry příložek byly změřeny při obhlídce konstrukce. Pevnostní třídu šroubů se nepodařilo zjistit a tak je uvažována nejnižší třída.



Obrázek 5-12: Detail šroubového spoje nárožníku

$N_{Ed}^- = - 526,69 \text{ kN}$

$N_{Ed}^+ = 498,55 \text{ kN}$

Parametry korozně oslabeného profilu:

$A =$	3700	mm ²	Plocha průřezu
$b =$	180	mm	Šířka ramene
$t =$	10,4	mm	Tloušťka průřezu
$f_y =$	235	MPa	Mez kluzu oceli
$f_u =$	360	MPa	Mez pevnosti oceli

Parametry přílozek:

$n_1 =$	2		Počet vnitřních přílozek
$t_1 =$	10	mm	Tloušťka vnitřní příložky
$b_1 =$	150	mm	Šířka vnitřní příložky
$n_2 =$	2		Počet vnějších přílozek

$t_2=$	10	mm	Tloušťka vnější příložky
$b_2=$	180	mm	Šířka vnější příložky
	S235		Třída oceli
$f_y=$	235	MPa	Mez kluzu oceli
$f_u=$	360	MPa	Mez pevnosti oceli

Parametry šroubů:

$n_b=$	8	ks	Počet šroubů
$n_s=$	1		Počet střižných rovin
	M24		Typ šroubu
$d=$	24	mm	Průměr šroubu
$d_0=$	26	mm	Průměr otvoru pro šroub
$A_s=$	353	mm ²	Plocha jádra šroubu
$p_1=$	106	mm	Vzdálenost mezi středy otvorů ve směru působící síly
$e_1=$	50	mm	Vzdálenost středu otvoru od kraje úhelníku ve směru působení síly
$e_2=$	50	mm	Vzdálenost středu otvoru od kraje úhelníku měřená kolmo na směr síly
	4.6.		Pevnostní třída šroubu
$f_{yb}=$	240	MPa	Mez kluzu pro šroub
$f_{ub}=$	400	MPa	Pevnostní třída šroubu
$\alpha_v=$	0,6		Součinitel pro únosnost ve stříhu

$\gamma_{M0}=$	1,00	Bezpečnostní součinitel pro průřezy všech tříd
$\gamma_{M2}=$	1,25	Bezpečnostní součinitel pro posudek oslabených průřezů v tahu

Tah v oslabeném průřezu:

$$N_{Ed}= 498,55 \text{ kN}$$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3700 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{Rd} = 869,5 \text{ kN}$$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$N_{Rd}=$	869,5	kN	\geq	$N_{Ed}=$	498,55	kN
-----------	-------	----	--------	-----------	--------	----

VYHOVUJE
Využito 57 %

Posudek oslabeného průřezu na tah:

$n = 2$ ks Počet šroubů v průřezu

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 3700 - 2 \cdot 26 \cdot 10,4$$

$$A_{net} = 3159 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{3159 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{u,Rd} = 534,54 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$N_{u,Rd} = 534,4 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 498,55 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Využito 93 %

Posudek přílozek:

Únosnost plného průřezu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{n \cdot b \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2 \cdot 150 \cdot 10 + 2 \cdot 180 \cdot 10) \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{pl,Rd} = 1551 \text{ kN}$$

Únosnost oslabeného průřezu:

$$A_{net} = (n_1 \cdot b_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot t_2) - (n_b/2 \cdot d_0 \cdot t_1 + n_b/2 \cdot d_0 \cdot t_2)$$

$$A_{net} = 5560 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 5560 \cdot 400}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = 1441,15 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$N_{u,Rd} =$	1441,15 kN	\geq	$N_{Ed} =$	526,69 kN
VYHOVUJE				
Využito	37 %			

Únosnost šroubů ve smyku:

Posudek délky spoje:

$$L_j = 475 \leq 15 \cdot d = 360 \text{ mm}$$

Jedná se o dlouhý spoj. Je nutná redukce únosnosti ve střihu.

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} = 0,98$$

$$F_{v,Rd} = n_b \cdot n_s \cdot \frac{\beta_{Lf} \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 8 \cdot 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 353}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 1058,44 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$F_{v,Rd} =$	1058,44 kN	\geq	$N_{Ed} =$	526,69 kN
VYHOVUJE				
Využito	50 %			

Otlačení:

Otlačení spojovaného prvku:

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ 1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{240}{400} \\ \frac{50}{3 \cdot 26} \\ \frac{106}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \\ 1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,11 \\ 0,64 \\ 1,36 \\ 1 \end{array} \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right\}$$

$$\alpha = 0,64$$

$$k_1 = 2,5$$

Otlačení úhelníku:

$$F_{b,Rd} = n_b \cdot \frac{\alpha \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 8 \cdot \frac{0,64 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10,4}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 920,13 \text{ kN}$$

Otlačení příložek:

$$F_{b,Rd} = n_b \cdot \frac{\alpha \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 8 \cdot \frac{0,64 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 1772,31 \text{ kN}$$

Rozhodne nejmenší únosnost.

POSUDEK:

$F_{v,Rd} =$	920,13 kN	\geq	$N_{Ed} =$	526,69 kN
VYHOVUJE				
Využito	57 %			

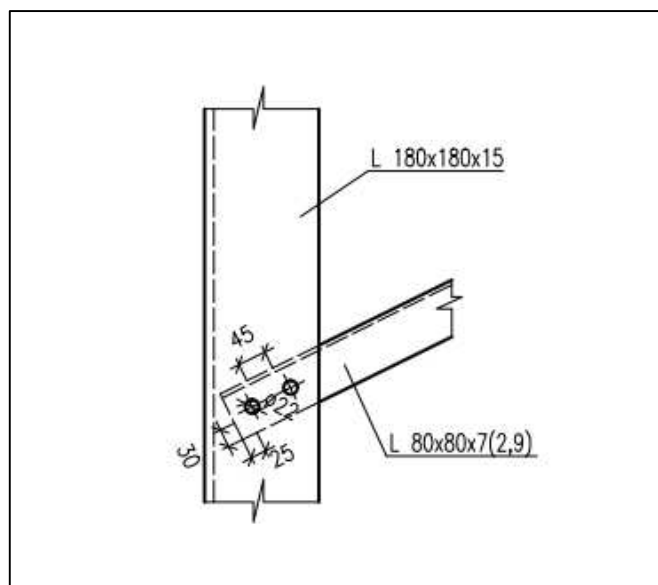
Shrnutí posudku:

Tabulka 5-7: Výsledky posouzení šroubového spoje nárožníků

Posudek	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Posouzení	Využití [%]
Úhelník-plný	498,55	869,50	VYHOVUJE	57
Úhelník-oslabený	498,55	534,54	VYHOVUJE	93
Šrouby-smyk	526,69	1058,44	VYHOVUJE	50
Úhelník- otlačení	526,69	920,13	VYHOVUJE	57
Příložky-oslabené	526,69	1441,15	VYHOVUJE	37

5.11 Posouzení šroubového spoje diagonály L80/7- koroze

Posudek bude proveden pro diagonálu s největším naměřeným korozním oslabením. Prvek je oslaben na tloušťku 2,9 mm.



Obrázek 5-13: Detail připojení příhradového ztužení

$$N_{Ed}^- = -44,56 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^+ = 44,38 \text{ kN}$$

Parametry korozně oslabeného profilu:

$A=$	493,00	mm ²	Plocha korozně oslabeného průřezu
$b=$	80	mm	Šířka ramene
$t=$	2,90	mm	Tloušťka průřezu
$f_y=$	235	MPa	Mez kluzu oceli
$f_u=$	360	MPa	Mez pevnosti oceli

Parametry šroubů:

$n_b=$	2	ks	Počet šroubů
$n_s=$	1		Počet střižných rovin
	M20		Typ šroubu
$d=$	20	mm	Průměr šroubu
$d_0=$	22	mm	Průměr otvoru pro šroub
$A_s=$	245	mm ²	Plocha průřezu šroubu
$p_1=$	45	mm	Vzdálenost mezi středy otvorů ve směru působící síly
$e_1=$	25	mm	Vzdálenost středu otvoru od kraje úhelníku ve směru působení síly
$e_2=$	30	mm	Vzdálenost středu otvoru od kraje úhelníku měřená kolmo n směr síly
	4.6.		Pevnostní třída šroubu
$f_{yb}=$	240	MPa	Mez kluzu šroubu

$f_{ub} =$	400	MPa	Pevnostní třída šroubu
$\alpha_v =$	0,6		Součinitel pro únosnost ve střihu

$\gamma_{M0} =$	1,00	Bezpečnostní součinitel pro průřezy všech tříd
$\gamma_{M2} =$	1,25	Bezpečnostní součinitel pro posudek oslabených průřezů v tahu

Tah v oslabeném průřezu:

$$N_{Ed} = 44,38 \text{ kN}$$

Posudek na tah:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{493 \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{Rd} = 115,86 \text{ kN}$$

POSUDEK:

Únosnost průřezu neoslabeného otvory:

$N_{Rd} =$	115,86	kN	\geq	$N_{Ed} =$	44,38	kN
------------	--------	----	--------	------------	-------	----

VYHOVUJE

Využito	38	%
---------	----	---

Posudek oslabeného průřezu na tah:

$n =$	1	ks	Počet šroubů v průřezu
-------	---	----	------------------------

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 493 - 22 \cdot 2,9$$

$$A_{net} = 429 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{429 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{u,Rd} = 72,62 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$N_{u,Rd} =$	72,62	kN	\geq	$N_{Ed} =$	44,38	kN
--------------	-------	----	--------	------------	-------	----

VYHOVUJE

Využito	61	%
---------	----	---

Posudek nesymetricky připojeného průřezu na tah:

$$p_1 = 45 \leq 2,5 \cdot d_0 = 55 \text{ mm} \rightarrow \beta_2 = 0,4$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,4 \cdot 429 \cdot 360}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = 54,94 \text{ kN}$$

Únosnost nesymetricky připojeného průřezu:

$$N_{Rd} = 54,94 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 44,38 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito } 81 \%$$

Únosnost šroubů ve smyku:

$$F_{v,Rd} = n_b \cdot n_s \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 245}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 94,08 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$$F_{v,Rd} = 94,08 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 44,56 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito } 47 \%$$

Otlačení:

Otlačení spojovaného prvku:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{\frac{f_{ub}}{f_u}}{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}}, \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{\frac{240}{400}}{\frac{25}{3 \cdot 22}}, \frac{45}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 1,11 \\ 0,38 \\ 0,43 \\ 1 \end{matrix} \right.$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7}{2,5} = \min \left\{ \frac{2,12}{2,5} \right. \right. \right.$$

$$\alpha = 0,38$$

$$k_1 = 2,12$$

Otlačení úhelníku:

$$F_{b,Rd} = n_b \cdot \frac{\alpha \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,38 \cdot 2,12 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 2,9}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 29,78 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$F_{v,Rd} =$	29,78 kN	\geq	$N_{Ed} =$	44,56 kN
NEVYHOVUJE				
Využito	150 %			

Vytržení skupiny šroubů:

Plocha oslabená tahem:

$$A_{nt} = (e_2 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t = (30 - 0,5 \cdot 22) \cdot 2,9$$

$$A_{nt} = 55,1 \text{ mm}^2$$

Plocha oslabená ve smyku:

$$A_{nv} = (e_1 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t = (25 - 0,5 \cdot 22) \cdot 2,9$$

$$A_{nv} = 40,6 \text{ mm}^2$$

Únosnost úhelníku ve vytržení skupiny šroubů:

$$V_{eff,Rd} = \left(\frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \right) = \left(\frac{0,5 \cdot 360 \cdot 55,1}{1,25} + \frac{\frac{235}{\sqrt{3}} \cdot 40,6}{1} \right)$$

$$V_{eff,Rd} = 13,44 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$F_{v,Rd} =$	13,44 kN	\geq	$N_{Ed} =$	44,38 kN

NEVYHOVUJE
Využito 330 %

Shrnutí posudku:

Tabulka 5-8: Shrnutí výsledných posudků šroubového spoje úhelníku

Posudek	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Posouzení	Využití [%]
Úhelník-plný	44,38	115,86	VYHOVUJE	38
Úhelník-oslabený	44,38	72,62	VYHOVUJE	61
Úhelník-nesymetrický	44,38	54,94	VYHOVUJE	81
Šrouby-smyk	44,56	94,08	VYHOVUJE	47
Úhelník- otláčení	44,56	29,78	NEVYHOVUJE	150
Šrouby-vytržení	44,38	13,44	NEVYHOVUJE	330

Úhelník nevyhovuje na otláčení a vytržení šroubů. V rámci rekonstrukce budou tyto prvky ve spodní části stožáru vyměněny.

Při ztrátě únosnosti jedné z diagonál, konstrukce vyhoví na globální stabilitu. Vnitřní síly v prvcích se zvýší nepatrně.

6. Návrh rekonstrukce

Návrh rekonstrukce koncového stožáru bude proveden na základě poskytnuté technické dokumentace [4], prohlídky posuzovaného stožáru a posudku oslabených prvků (Tabulka 5-7 a Tabulka 5-8).

Rekonstrukci je doporučeno neprovádět při nejhorší kombinaci, a tou je kombinace maximální námrazy a větru.

Postup rekonstrukce bude popsán v jednotlivých krocích. Bude provedena výměna jednotlivých přílozek a nejnižše položené prvky příhradového ztužení. Všechny nově realizované prvky budou připojeny koutovým svarem ($a = 5 \text{ mm}$).

6.1 Posudek rekonstrukce

6.1.1 Posouzení šroubového spoje nárožníku L 180/15- koroze, montáž

Posudek bude proveden pro styčníky po odstranění jedné vnější příložky. Šrouby působí jako jednostřížné. Vychází se z posudku v kapitole 0.

Posudek přílozek:

Únosnost plného průřezu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{n \cdot b \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2 \cdot 150 \cdot 10 + 1 \cdot 180 \cdot 10) \cdot 235}{1} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{pl,Rd} = 1128 \text{ kN}$$

Únosnost oslabeného průřezu:

$$A_{net} = (n_1 \cdot b_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot t_2) - (n_b/2 \cdot d_0 \cdot t_1 + n_b/2 \cdot d_0 \cdot t_2)$$

$$A_{net} = 4020 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4020 \cdot 400}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = 1041,98 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$N_{u,Rd} =$	1041,98 kN	\geq	$N_{Ed} =$	526,69 kN
VYHOVUJE				
Využito	51 %			

Únosnost šroubů ve smyku:

Posudek délky spoje:

$$L_j = 475 \leq 15 \cdot d = 360 \text{ mm}$$

Jedná se o dlouhý spoj. Je nutná redukce únosnosti ve střihu.

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} = 0,98$$

$$F_{v,Rd} = n_b \cdot n_s \cdot \frac{\beta_{Lf} \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 8 \cdot 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 0,98 \cdot 400 \cdot 353}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 529,22 \text{ kN}$$

POSUDEK:

$F_{v,Rd} =$	529,22 kN	\geq	$N_{Ed} =$	526,69 kN
VYHOVUJE				
Využito	100 %			

Otlačení:

Otlačení spojovaného prvku:

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ 1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{240}{400} \\ \frac{50}{3 \cdot 26} \\ \frac{106}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \\ 1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,11 \\ 0,64 \\ 1,36 \\ 1 \end{array} \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right\}$$

$$\alpha = 0,64$$

$$k_1 = 2,5$$

Otlačení úhelníku:

Postup je uveden v kapitole 0.

$$F_{b,Rd} = 921,6 \text{ kN}$$

Otlačení příložek:

$$F_{b,Rd} = n_b \cdot \frac{\alpha \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 8 \cdot \frac{0,64 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 886,15 \text{ kN}$$

Omezení pro jednostřížný spoj:

$$F_{b,Rd} = n_b \cdot \frac{1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 8 \cdot \frac{1,5 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 829,44 \text{ kN}$$

Rozhodne nejmenší únosnost.

POSUDEK:

$$F_{v,Rd} = 829,44 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 526,69 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Využito } 63 \%$$

Shrnutí posudku:

Tabulka 6-1: Posudek spoje při rekonstrukci

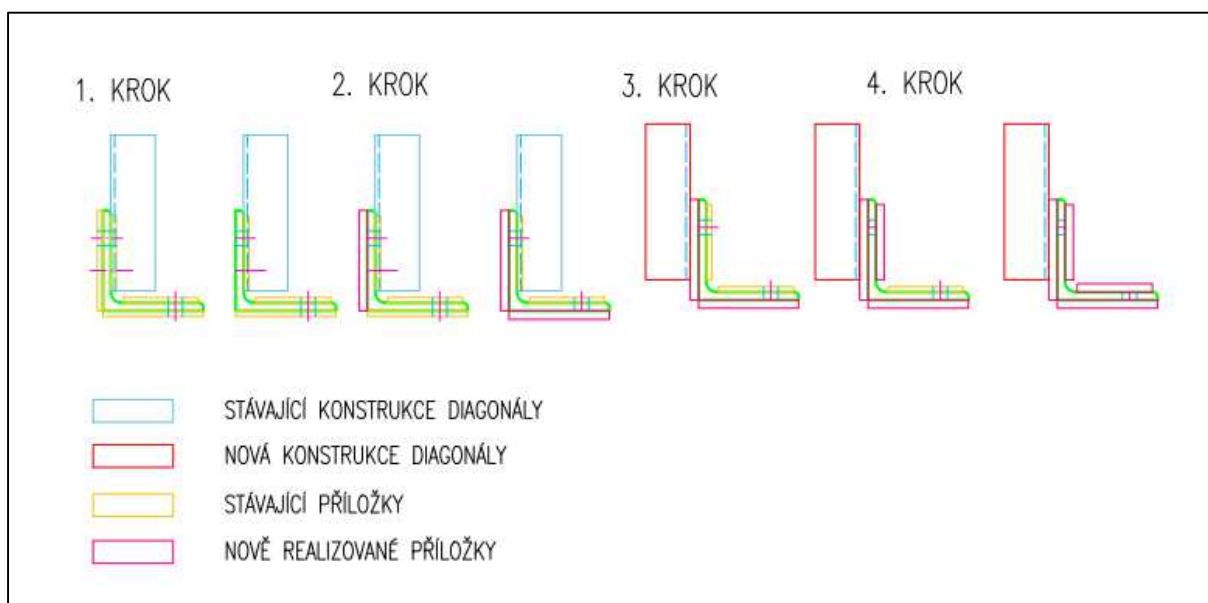
Posudek	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Posouzení	Využití [%]
Šrouby-smyk	526,69	529,22	VYHOVUJE	100
Příložky- otlačení	526,69	829,44	VYHOVUJE	63
Příložky-oslabené	526,69	1041,98	VYHOVUJE	51

6.1.2 Posouzení šroubového spoje nárožníku L 80/7- koroze, montáž

Využití profilu při posudku na vzpěr s maximálním zatížením a zvětšenou vzpěrnou délkou je 31%. Při omezení klimatických podmínek při montáži posudek určitě vyhoví.

6.2 Postup rekonstrukce

V této kapitole jsou uvedeny dva postupy rekonstrukce. První postup je pro strany stožáru, které mají vystřídané příhradové ztužení. Druhý postup je pro boční strany stožáru, kde se nachází křížové ztužení. Poněvadž nebyla při rekonstrukci překročena únosnost prvků je pouze doporučeno neprovádět montáž při nejhorší kombinaci vysokého mrazu a větru.



Obrázek 6-1: Postup rekonstrukce stožáru

POSTUP 1:

1. KROK

V prvním kroku je nutné zajistit působení šroubů i po odstranění vnějších příložek. Stávající šrouby se z vnitřní strany přivaří k příložkám. Příložky (P10) se ze všech dostupných stran přivaří k nárožníkům.

Pro zjištění hloubky korozního oslabení bude v patě vnějších příložek odstraněn základový beton do hloubky 100 - 150 mm, podle zjištěné hloubky výskytu koroze.

V následujících krocích bude popsán postup výměny vždy jedné příložky.

2. KROK

V druhém kroku se odstraní matice z vnějších příložek, příložky se vyjmou a zbytek šroubů se zabrousí tak, aby byl povrch nárožníků srovnán. Povrch obnažené části nárožníku se musí patřičně očistit od korozivních zbytků a na něj se následně navaří příložka P20- 180x1400 mm, výška plechu se může změnit podle hloubky korozního oslabení zjištěného v 1. kroku. Takto budou nahrazeny i zbylé vnější příložky a vždy bude měněna pouze jedna příložka.

3. KROK

Po výměně všech vnějších příložek bude nahrazen diagonální prvek. Profil L 80/8 bude navařen na vnější příložky a umístění bude korespondovat se stávající diagonálou.

Následně bude stávající příhradový prvek odstraněn.

4. KROK

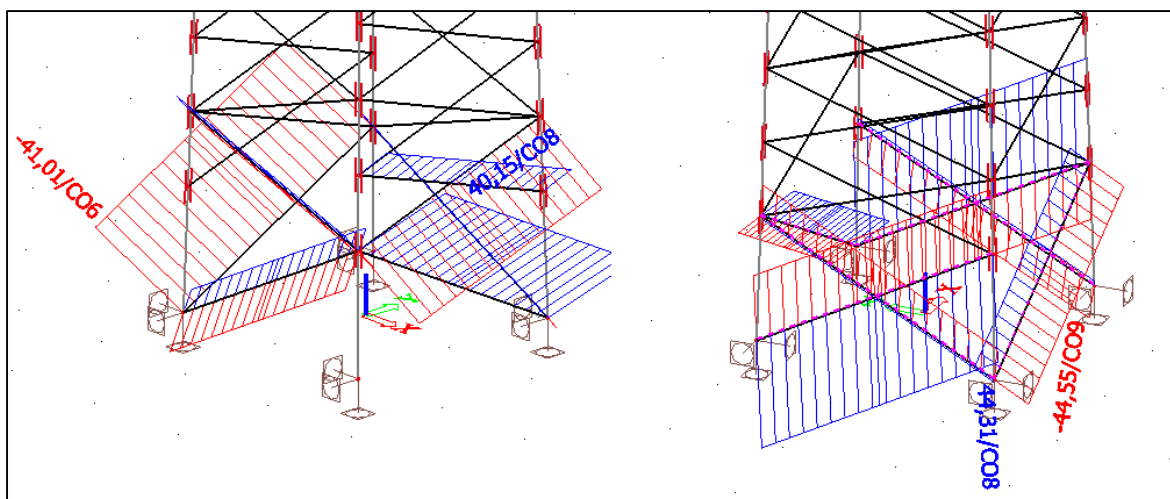
V dalším kroku budou nahrazeny vnitřní příložky. První se odstraní šrouby a stávající příložky. Následně se povrch nárožníku očistí a na něj se po celém obvodu navaří příložka P15- 145x1400 mm. Postupně budou tímto způsobem vyměněny všechny vnitřní příložky.

5. KROK

V poslední fázi bude provedena povrchová protikorozi ochrana a zatmelení nebezpečných míst.

Při sanaci základů bude provedena i oprava betonu u pat nárožníků. Beton v rozích nárožníků bude vyspárován, aby nedocházelo k hromadění nečistot.

Popsaný postup se bude lišit u stran, kde se nachází křížové příhradové ztužení. Diagonální prvky jsou navařeny jedna z vnitřní, druhá z vnější strany (Obrázek 6-2- pravá strana). Při odstranění jednoho z prvků se vnitřní síly v diagonále nezvýší (Obrázek 6-2- levá strana), změní se ale vzpěrná délka prvku. Únosnost prvku při nové vzpěrné délce vyhoví.



Obrázek 6-2: Rozdíl vnitřních sil při odstranění vnějších diagonál

POSTUP 2:

1. KROK

První krok bude probíhat jako u postupu jedna.

2. KROK

V druhém kroku se odstraní vnější diagonály a dále se bude pokračovat jako v postupu jedna.

Po navaření vnějších příložek bude umístěn nový diagonální prvek L 80/8 na místo předešlého příhradového prvku.

3. KROK

Po výměně všech vnějších příložek a vnějších diagonál bude odstraněn vnitřní diagonální prvek.

4. KROK

V dalším kroku budou nahrazeny vnitřní příložky. První se odstraní šrouby a stávající příložky. Následně se povrch nárožníku očistí a na něj se po celém obvodu navaří příložka P15- 145x1400 mm. Po výměně se na stávající místo navaří nový diagonální prvek L 80/8.

5. KROK

Poslední fáze je stejná jako v 1. postupu.

6.2.1 Protikoroziční ochrana

Jako protikoroziční ochranu se doporučuje použít nátěrový systém pro stupeň koroziční agresivity C4. Nátěr bude aplikován na celou konstrukci. Styky příložek a nárožníků budou sanovány tmelem pro zabránění vzniku spárové koroze.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat statický posudek ocelového stožáru velmi vysokého napětí a vypracovat návrh rekonstrukce korozně oslabených prvků. Práce se podrobněji zabývá problémem působení vodičů na stožáry. Experimentálně byl změřen maximální průhyb vodiče a byl použit jako počáteční podmínka pro zjištění mechanického napětí ve vodiči. V teoretické části práce jsou popsány použité postupy pro výpočet zatížení od vodičů. Zatížení na příhradový stožár bylo stanoveno podle specifik pro stožáry vysokého vedení dle ČSN EN 50341-1.

V kapitole 5 je řešen konkrétní stožár. Jsou zde popsány výpočty pro jednotlivé zatížení a výsledky vnitřních sil z programu Scia Engineer 15.2. Konstrukce byla posouzena na mezní stav použitelnosti a jednotlivé prvky na mezní stav únosnosti. Vodiče byly posouzeny z hlediska maximálního dovoleného napětí a přípustné vzdálenosti vodiče od země. Ve spodní části konstrukce byly posouzeny korozně oslabené prvky a šroubové spoje.

V závěru práce je navržena a posouzena rekonstrukce korozně oslabených prvků v patě konstrukce. Jsou zde popsány dvě metody. První je určena pro prvky vystřídáního příhradového ztužení, druhá pro prvky křížového ztužení.

Poděkování:

Děkuji doc. Ing. Vítovi Křivému, Ph.D. za odborné vedení při vypracování mé bakalářské práce.

8. Použité zdroje

Literatura

- [1] KADLČÁK, Jaroslav a KYTÝR, Jiří. *Statika stavebních konstrukcí I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, Kounicova 67a, 1998. ISBN 80-214-1204-6.
- [2] OTČENÁŠOVÁ, Alena. *Mechanika vonkajších silových vedení*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2010. ISBN 9788055401812.
- [3] PROCHÁZKA, Radek. Stožáry VVN (I). *tzbinfo*. [online]. 4.6.2007 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4170-stozary-vvn-i>
- [4] KŘIVÝ, Vít, Viktor URBAN a Ludmila ROJÍČKOVÁ. *Statický a znalecký posudek na 15 ks stávajících stožárů vedení VN180/94, Třebovice*. 2015.

Normy

- [5] ČSN EN 50341-1: *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV – Část 1: Obecné požadavky – Společné specifikace*. Český normalizační institut, 2013.
- [6] ČSN EN 1991-1-4: *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Český normalizační institut, 2007.
- [7] ČSN EN 50341-1: *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV – Část 3: Soubor Národních normativních aspektů*. Český normalizační institut, 2013.
- [8] ČSN EN 1991-1-5: *Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou*. Český normalizační institut, 2004.
- [9] ČSN EN 1993-3-1: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 3-1: Stožáry a komíny - Stožáry*. 2008.
- [10] ČSN EN 1993-1-1: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006.

Zdroj obrázků

- [11] Encyklopedie Energie: Elektrizační soustavy. *Energyweb.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z:

http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.3.2

- [12] *Www.zsbenesovnc.cz: Metody určení výšky a šířky v přírodě* [online]. In: . [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.zsbenesovnc.cz/files/PL6.pdf>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Trasa s nosnými a výztužnými stožáry při poruše 99[3].....	11
Obrázek 1-2: Nejčastější typy stožárů v ČR [11].....	12
Obrázek 2-1: Element délky průhybové křivky [2].....	13
Obrázek 2-2: Souměrná řetězovka [2]	15
Obrázek 2-3: Znázorněný způsob měření- podobnost trojúhelníku [12]	16
Obrázek 2-4: Stanovení výšky b , vzdálenost od fotoaparátu k metru je c a vzdálenost fotoaparátu pod střed vodiče je d	17
Obrázek 3-1: Mapa větrných oblastí ČR [6]	24
Obrázek 3-2: Síly větru na vodič v přímé trase [5].	27
Obrázek 3-3: Mapa námrazových oblastí v ČR [7].....	32
Obrázek 3-4: Nerovnoměrná námraza- příčný ohyb.....	34
Obrázek 3-5: Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu [8].....	36
Obrázek 3-6: Hodnoty minimální teploty ve stínu [8]	37
Obrázek 4-1: Symetrické nebo vystřídané ztužení nárožníků [5]	38
Obrázek 4-2: Schémata hlavního ztužení [9]	39
Obrázek 5-1: Schéma trasy elektrického vedení, šipka ukazuje na umístění řešeného stožáru.....	42
Obrázek 5-2: Řešený koncový stožár v Mariánských horách	43
Obrázek 5-3: Zadržování nečistot v koutech úhelníků [4]	44
Obrázek 5-4: Statický model koncového stožáru v programu Scia Engineer 15.2.....	45
Obrázek 5-5: Stálé zatížení způsobené vodiči při -5°C	46
Obrázek 5-6: Levý stožár: zatížení větrem kolmo na vodiče, pravý stožár: zatížení větrem kolmo na konzolu	48
Obrázek 5-7: Zatížení námrazou	52
Obrázek 5-8: Zatížení větrem a námrazou	53

Obrázek 5-9: Normálová, tlaková síla v nárožníku.....	61
Obrázek 5-10: Průběh příslušného ohybového momentu	65
Obrázek 5-11: Rozdílné vnitřní síly v prvcích křížového ztužení a v prvcích vystřídáního symetrického ztužení.....	71
Obrázek 5-12: Detail šroubového spoje nárožníku	81
Obrázek 5-13: Detail připojení příhradového ztužení	86
Obrázek 6-1: Postup rekonstrukce stožáru	94
Obrázek 6-2: Rozdíl vnitřních sil při odstranění vnějších diagonál	96

10. Seznam tabulek

Tabulka 2-1: Porovnání hodnot parametru řetězovky	18
Tabulka 3-1: Úrovně spolehlivosti	22
Tabulka 3-2: Základní rychlost větru [6]	23
Tabulka 3-3: Kategorie terénu, parametr drsnosti terénu z_0 a součinitel terénu k_r [6].....	25
Tabulka 3-4: Určení referenční výšky vodičů nad zemí [5].....	28
Tabulka 3-5: Rozdělení námrazových oblastí dle [7]	31
Tabulka 3-6: Součinitel aerodynamického odporu C_{lc} a hustota námrazy ρ_I pro různé typy námrazy [5]	34
Tabulka 3-7: Standartní zatěžovací stavy [5]	37
Tabulka 4-1: Volba případu vybočení [10]	40
Tabulka 4-2: Případy vybočení [10].....	40
Tabulka 4-3: Omezení vzdáleností vodičů od země [5].....	41
Tabulka 5-1: Parametry použitých vodičů	42
Tabulka 5-2: Stav profilů oslabených koroze	44
Tabulka 5-3: Maximální vnitřní síly na jednotlivých prvcích.....	55
Tabulka 5-4: Normálové síly a příslušné ohybové momenty	64
Tabulka 5-5: Využití profilů v procentech	79
Tabulka 5-6: Využití vodičů v procentech při různých zatěžovacích stavech.....	80
Tabulka 5-7: Výsledky posouzení šroubového spoje nárožníků.....	85
Tabulka 5-8: Shrnutí výsledných posudků šroubového spoje úhelníku.....	90
Tabulka 6-1: Posudek spoje při rekonstrukci	93

Příloha 1

Tabulka 9-1: Kombinace CO2	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-2: Kombinace CO3	Error! Bookmark not defined.

Tabulka 9-3: Kombinace CO4	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-4: Kombinace CO5	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-5: Kombinace CO6	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-6: Kombinace CO7	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-7: Kombinace CO8	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-8: Kombinace CO9	Error! Bookmark not defined.

Příloha 2

Tabulka 9-9: Změny hodnot při daných teplotách pro zemní lano	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-10: Změny hodnot při daných teplotách pro fázové vodiče...	Error! Bookmark not defined.
Tabulka 9-11: Změny hodnot při daných teplotách pro optické lano	Error! Bookmark not defined.

11. Přílohy

Příloha 1- Kombinace zatížení

Příloha 2- Výsledné síly od vodičů

Příloha 3- Technická zpráva

Příloha 4- Výkres č. 1: pohledy, řezy

Příloha 5- Výkres č 2: detail